Zur Frage der Unproduktivität des Unterbodens in humiden Gebieten.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

verfasst und einer

Hohen Philosophischen Fakultät (II. Sektion)

der

Kgl. Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt am 20. Februar 1915

von

Isaac de Villiers Malherbe
aus Malmesbury (Südafrika).

München 1915.

K. Hof- und Universitäts-Buchdruckerei Dr. C. Wolf & Sohn, München.

Meinen Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552318_0010

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 7

§ 1. Allgemeines über die Frage.
§ 2. Geschichtliches über den Boden.
§ 3. Beschaffung des Versuchsbodens.

A. Physikalische Untersuchungen 18

a) Die Lagerungsverhältnisse des Bodens.
b) Mechanische (Schlämm-) Analysen, Humus- und Karbonat-Bestimmung.
c) Hygroskopizität-Bestimmung.

B. Mineralogische Untersuchungen 34

a) Bodenskelett.
b) Feinerde.

C. Chemische Analysen 37

a) Elektrolytische Leitfähigkeit.
b) Salzsäure-Auszug.
c) Basenaustauschversuche.
d) Bauschanalyse des „Tons".

D. Schlußfolgerungen 55

Einleitung.

§ 1. Allgemeines über die Frage.

Es ist eine lang bekannte Erfahrung im Ackerbau, daß es gewisse Bodenarten gibt, die bezüglich ihrer Produktivität einen sehr scharfen Unterschied zwischen Ackerkrume und Unterboden aufweisen; bei solchen Böden darf man bei der Bearbeitung nicht die Krumegrenze überschreiten und den „Rohboden“ nach oben bringen, wenn man sich nicht der Gefahr aussetzen will, mehrere Ernten einzubüßen. So schreibt schon Sprengel,[1]) einer der ersten Wissenschaftler auf diesem Gebiete: „Bisweilen ist der aus dem Untergrunde heraufgebrachte Boden so unfruchtbar, daß er weder Futterkräuter und Getreide, noch sonst irgend Gewächse trägt.“ Als Ursachen solcher Unfruchtbarkeit gibt er an: das Vorhandensein von Ferrosalzen und saurem kohlensauren Manganoxydul, das Alternieren verschiedener Bodenschichten oder das Fehlen von Nährstoffen. Daß es indes auch unfruchtbare Unterböden gibt, die diese Fehler nicht haben und deren Aufbringen trotzdem eine Verschlechterung des Ganzen zur Folge hat, ist auch schon lange bekannt. In neuerer Zeit hat sich dies oft mit großen Schäden bemerkbar gemacht, wenn man mit dem Motorpflug ohne Rücksicht beliebig tief pflügt; die Ursache der Unfruchtbarkeit ist noch sehr lückenhaft bekannt.

Um jedes Mißverständnis zu vermeiden, sei hier gleich betont, was wir unter Ackerkrume und Unterboden verstehen:

---

[1]) Karl Sprengel: Die Bodenkunde. 1837, S. 264.

die Ackerkrume ist die durch den Menschen bearbeitete obere Bodenschicht, während der Unterboden die direkt darunter liegende Schicht ist, die von der Kultur noch nicht wesentlich beeinflußt ist und deshalb auch in der Praxis als „Rohboden" bezeichnet wird. Diese zwei Schichten zusammen bilden den kulturfähigen Boden. Lorenz von Libernau[1]) braucht hierfür die Bezeichnung „Gesamtmächtigkeit des Bodens".

Unter dem „Gesamtboden" lagert der „Untergrund": bei Primärböden durch den Gesteinsgrus, der auf dem unveränderten Gestein lagert, bei Sekundärböden durch abweichende Schichten, wie Kieselschotter, Quarzsand, Ton oder wenig verwitterten Boden repräsentiert. Bei der letzten Art ist der kulturfähige Boden oft von großer Mächtigkeit, und der Untergrund muß dann willkürlich getroffen werden (so z. B. bei tiefen diluvialen Lehmböden.)

Die obige Abgrenzung in drei Bodenschichten stellt aber nur die normalen Grenzformen dar, denn es gibt noch zahlreiche Übergänge davon. Mitunter fehlt der Rohboden gänzlich oder zwei oder mehrere Bodenarten wechsellagern miteinander, auch treten sekundär gebildete verhärtete Schichten im Unterboden oder im Untergrund auf.

Um das Problem hier richtig erkennen zu können, wollen wir vorher einige jener abweichende Fälle kurz erörtern.

I. Das Fehlen des Unterbodens.

Der Unterboden fehlt, wenn der Gesamtkulturboden nur sehr flachgründig ist und durch festes Gestein oder einen unfruchtbaren Schotter oder Kies unterlagert wird, wie z. B. auf der Niederterrasse bei München. Ferner muß hier darauf hingewiesen werden, daß den typischen ariden Böden überhaupt roher Unterboden fehlt, d. h. es gibt für solche Böden keine scharfe Grenze zwischen Krume und Unterboden, wie Hilgard[2])

[1]) Lorenz von Libernau: Die geologischen Verhältnisse von Grund und Boden. Wien 1883, S. 223.

[2]) E. W. Hilgard: Einfluß des Klimas auf die Bildung und Zusammensetzung des Bodens. Heidelberg 1893. S. 18—20.

zuerst für die Böden der westlichen Vereinigten Staaten nachgewiesen hat. Aber auch in anderen halbariden Ländern wie Südafrika,[1]) Nordwest-Indien[2]) u. s. w. ist dies seit jeher eine altbekannte Erfahrung. Man kann hier pflügen, so tief man will,[3]) denn in solchen Böden reichen der Humusgehalt und die Lockerheit des Bodens — die zwei meist charakteristischen Merkmale der Krume — durchweg in große Tiefe; in der Tat ist der Humusgehalt oft in der tieferliegenden Schicht höher als in der obersten, wo die Eremakausis[4]) oder Verwesung der organischen Substanz sehr rasch vor sich geht. Da auch erstens die Tonbildung in ariden Klimaten sehr verlangsamt und zweitens die Auswaschung der tonigen Teile aus der oberen Schicht nicht so stark ist wie in humiden Ländern, so ist die Bildung eines verdichteten, tonreichen Unterbodens in diesen vorwiegend sandigen Böden von vornherein ausgeschlossen. Selbstverständlich gibt es auch hier schwere Böden, aber diese treten nur örtlich im niedrigen, nassen Gelände auf und sind entweder angeschwemmter Boden oder rühren von tonigen Formationen her, so daß sie noch nicht Zeit gehabt haben, eine Funktion des Klimas zu werden.

II. Bodensohlen.

Unter Bodensohlen versteht man die verhärteten Bodenschichten, die manchmal im Unterboden oder Untergrund vorhanden sind und deren Ursprung und Zusammensetzung sehr verschieden sein können. Als Hauptbeispiele mögen hier genannt werden:

1. Die Ortsteinsohle.[5])

Sie entsteht in humiden Gebieten, wenn die ausgewaschene oberste Bodenschicht durch Rohhumus überlagert wird, d. h. wenn

---

[1]) Vergl. C. F. Juritz: Agricultural soils of Cape Colony 1910. S. 87, 107, 144 u. s. w.

[2]) Leather: On the Composition of Indian soils. 1898.

[3]) H. S. du Toit: Dryfarming. Farmers Bulletin, Nr. 130 Prätoria 1910, S. 4.

[4]) Hilgard: Soils, their Formation, Properties, etc. 1911. S. 129—130.

[5]) E. Ramann: Bodenkunde. 1911. S. 199—206.

P. G. Müller: Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin 1887 u. s. w.

der Boden lange unkultiviert gelegen hat. Die sich bildenden Humussole beschleunigen oder ermöglichen noch die Auswaschung solcher Substanzen, wie Eisenoxyd, Tonerde und Phosphat, und erst im Unterboden, wo noch reichlich lösliche Salze vorhanden sind, werden die Humus- und sonstigen Kolloide wieder als Gele ausgefällt. So verkitten sie die Bodenteile allmählich zu einer festen sogen. „Ortsteinschicht". Die Tiefe und Mächtigkeit sind sehr verschieden; sehr verbreitet in allen Podsolböden.

2. Eisensohle.[1])

Die Bildung der Eisensohle steht unter ähnlichen Bedingungen wie die Ortsteinbildung. Das Auftreten von „Raseneisenstein" kommt immer in absorptiv-ungesättigt humosen Böden vor, wo eisenhaltiges Wasser mit der Luft in Berührung kommt. Dabei spielen auch die Eisenbakterien scheinbar eine entscheidende Rolle. Er kann entweder in kleinen Konkretionen auftreten, die lose im Boden liegen und dann wenig schädlich sind, oder in festen Bänken von oft großer Mächtigkeit und bereitet dann der Bodenkultur große Schwierigkeiten.

Eisenschüssige Sande, auch „Eisenortstein" genannt, sind eine andere Art von Eisensohle, deren Bildungsbedingungen noch nicht mit Sicherheit bekannt sind. Die Bildung einer Eisensohle ist immer ein Zeichen, daß zu wenig Kalk vorhanden und der Boden schlecht durchlüftet ist.

3. Kalksohle.

Die Wanderung des Kalkes im Boden wird beeinflußt durch das absickernde und aufsteigende Wasser, je nachdem einer der beiden Vorgänge vorherrschend ist. In humiden Gebieten überwiegt das absickernde Wasser. Dort wird der Kalk daher meistens in größere Tiefe geführt und vom Grundwasser fortgeleitet.

In allen wärmeren, regenärmeren Gebieten (Steppen und Halbwüsten) dagegen, wie z. B. in Nordwest-Indien (Ausschei-

[1]) Ramann l. c.: S. 101—102.
A. D. Hall: The soil. London 1908. S. 25, u. andere.

dung hier als „Kankar“ bezeichnet)[1]), Südafrika[2]), Südwestlichen Vereinigten Staaten[3]), Ungarn[4]), Südost-Rußland[5]) u. s. w. wird der Kalk in einer relativ flachen Schicht abgelagert. Dies hat seine Ursache in der Verdunstung des aufsteigenden Wassers, wodurch das gelöste Bikarbonat in Karbonat zerfällt.

Die Sohle besteht wesentlich aus Kalk und Sand, weil erstens, wie schon erwähnt, aride Böden relativ tonarm sind und zweitens der vorhandene Ton schon im Oberboden durch den Kalk ausgeflockt wird und die obere Schicht sich somit in Krümelstruktur befindet.

4. Sodasohle[6]) (Alkali Hardpan).

Diese Art Sohle trifft man in Schwarzalkaliböden an, wo die Soda sowie andere Natriumsalze nicht an die Oberfläche treten, sondern im Unterboden sich konzentrieren und die Bodenteile, namentlich den Ton, in die Einzelkornstruktur überführen. So wird infolge der sehr dichten Lagerung eine Wasser schwer durchlassende Schicht gebildet.

Hilgard gibt Gips als Meliorationsmittel an.

5. Pflugsohle.

Durch die regelmäßige Bearbeitung des Ackerlands bis zu einer bestimmten Tiefe verursacht man allmählich eine Pflugsohle. Sie stellt daher die verdichtete Schicht unter der Krume dar. Hilgard[7]) schreibt, daß sie meistens auf schwereren Böden vorkommt und dann oft eine dicht verkittete Lagerung annimmt. Ramann[8]) dagegen meint, daß sie besonders auf leichteren

---

[1]) Hilgard: Einfluß des Klimas u. s. w. S. 37.
Leather: On the Composition of Indian Soils 1898.

[2]) Rogers a. du Toit: The Geology of Cape Colony. London 1909. S. 401.

[3]) Hilgard: Soils, etc. S. 162, 179.

[4]) von Sigmond: Erfahrungen über die Verbesserung von Alkaliböden. Int. Mitt. f. Bod. 1911. S. 51.

[5]) K. Glinka: Die Typen der Bodenbildung. Berlin 1914. S. 144ff. Vergl. auch den „Glei-horizont“ Wyssotskis in Glinka. Ditto, S. 74.

[6]) Hilgard: l. c. S. 185, 454. von Sigmond: a. a. O. S. 50.

[7]) Hilgard: l. c. S. 186.

[8]) Ramann: a. a. O. S. 501.

Böden auftritt und in trocknen Zeiten durch Verwelken der Vegetation sich kenntlich macht. Sie bildet sich wohl allgemein da, wo immer dieselbe Krumentiefe bearbeitet wird, aber die Bildungsweise dürfte nach dem Klima und der Bodenart etwas verschieden sein. Ramann[1]) meint, daß „chemische Ausscheidungen (Eisen und Humus) und mechanisches Durchschlämmen (von Ton) nebeneinander auftreten".

Das Wechsellagern von verschieden zusammengesetzten Schichten wie Ton, Lehm, Sand, Kies, Schotter ist so mannigfaltig, daß es außerhalb des Rahmens dieser Arbeit liegt, darauf einzugehen. Dazu ist die Ursache einer etwa vorkommenden Unproduktivität in dem Falle an und für sich klar. Bezüglich weiterer Literatur über die Fruchtbarkeitsverhältnisse verschiedener Bodenschichten verweise ich auf die neuerdings erschienene Arbeit von v. Nostitz,[2]) der ungefähr fünfzig frühere Untersuchungen kurz anführt. Diese Arbeiten begnügen sich aber durchweg bloß damit, den Nährstoffvorrat bezw. Mangel in den verschiedenen Schichten festzustellen, ohne die tieferliegenden Ursachen der Verwitterung bezw. Auslaugung zu erforschen.

Als Regel gilt, daß der Gehalt an Humus bezw. Stickstoff, Phosphorsäure und leichtlöslichem Kali nach der Tiefe abnimmt; der Gehalt an Kalk und Magnesia weist keine Regelmäßigkeiten auf; die neueren Forscher stellen auch die starke Abnahme der Bakterienzahl nach der Tiefe fest. v. Nostitz war der erste, der durch Vegetationsversuche sich bemühte, die Unterschiede im Profil festzustellen, sowie durch Düngungsversuche zu prüfen, inwiefern diese Unterschiede ausgeglichen werden können.

Seine Ergebnisse sind:[3])

1. „Mit zunehmender Schichtentiefe nahm die Ertragsfähigkeit des Bodens ab.

2. Die Unterschiede im Pflanzenertrag waren durch die

[1]) Ramann: a. a. O. S. 115.

[2]) A. Freih. v. Nostitz: Die Fruchtbarkeitsverhältnisse in verschiedenen Schichten eines Bodenprofils. Land. Jahrb. 1914. Bd. XLVII, Heft 1. S. 113ff.

[3]) Ditto. S. 152.

Düngung (bei jedem Versuch wurde eine Volldüngung gegeben) zwar gemildert, nicht aber aufgehoben.

3. Mit der Minderung der Erntemenge von den obersten nach den tieferen Schichten war nicht immer eine gleichzeitige Minderung des Mineralstoffgehaltes der Ernteprodukte verbunden, derselbe konnte beispielsweise bei tieferen Schichten auch prozentual höher sein."

Weiter fand er in der Tiefe die übliche Abnahme des Humus- und Phosphorsäuregehalts. Gleichfalls bemerkte er starke Abnahme der Bakterienzahl. Diesen Tatsachen schrieb er die Minderwertigkeit der tieferen Schichten zu. Betreffs der Bakterientätigkeit machte er die interessante Beobachtung, daß erstens die Buttersäurebakterien, weil sie ja anaerob sind, auch in der Tiefe sehr tätig waren und zweitens zum Ausgleich des verschiedenen Bakteriengehalts der Zeitraum von einer Vegetationsperiode nicht genügte, obgleich die Bakterienzahl beträchtlich zugenommen hatte. Leider hat er keine Versuche mit Stalldünger ausgeführt, die für die Bakterientätigkeit wahrscheinlich ein ganz anderes Ergebnis gehabt hätten.

Er erwähnt auch nicht, ob seine Unterböden sich der Krume gegenüber stark abweichend verhielten.

Bei der von mir ausgeführten Untersuchung hatte ich davon auszugehen, daß das Tiefpflügen eine physikalische Verschlechterung und beträchtliche Ertragsverminderung zur Folge hat. Ich beobachtete die Grenze zwischen der Krume und dem Unterboden ganz scharf bei etwa 21 cm Tiefe. Die hellere Farbe und die zähere Beschaffenheit des Unterbodens hob sich von der Krume deutlich ab. Mit der Tiefe der Bodenbearbeitung steigt der Ertrag, da dann mehr lockerer Boden, mehr Nährstoffe und größere Wassermengen den Pflanzen zur Verfügung stehen. Neuerdings bestrebt sich Mitscherlich[1]) dies mathematisch auszuarbeiten, aber schon Thaer hat ja die Deutung der Tiefkultur seinerzeit richtig erkannt. Es ist danach von der allergrößten Wichtigkeit, namentlich für die angewandte

[1]) Mitscherlich: Bodenkunde. 1913. S. 112, 272—274.

aber auch für die rein wissenschaftliche Bodenkunde zu erforschen, woran die Unproduktivität dieses Unterbodens, der in allen humiden Gebieten so verbreitet ist, gebunden ist.

Um der Lösung dieser Frage näher zu kommen, untersuchte ich den Boden eingehend physikalisch, mineralogisch und chemisch.

§ 2. Geschichtliches über den Boden.

Der Boden wurde auf dem Staatsgut Weihenstephan bei Freising von dem sogen. Jungbräuacker entnommen. Was die Geologie und Bodenkunde des Staatsguts anbetrifft, so verweise ich auf die Untersuchungen von Koehne[1]), der die Gegend geologisch-bodenkundlich beschrieben und kartiert hat und auf dessen Arbeit ich mich in diesem Abschnitt beziehe.

Der tiefere Untergrund besteht aus tertiären (obermiocänen) Ablagerungen von wechselnder Beschaffenheit; es kommen somit Kies-, Sand- und Flinztonschichten (Letten) vor, die letztere besteht großenteils aus Glimmerschüppchen. Sie sind daher die Absatzprodukte fließenden bezw. stehenden Wassers, und kommen manchmal schichtweise in Bänken an einer Stelle vor. Überlagert werden sie durch die Lößlehmdecken, die sich während der Quartärzeit gebildet haben, als sich das Eis vom Alpengebiet zurückzog. Die Endmoränen selbst sind nicht bis Freising gelangt, und ob die Lößlehmdecken aus Staubablagerungen oder aus Wasseranschwemmungen entstanden sind, ist noch nicht einwandfrei festgestellt worden. Für die nördlichen Hügelgelände von Weihenstephan, die übrigens schon in der Tertiärzeit im großen und ganzen das heutige topographische Bild zeigten, ist also das typische Profil des Bodens folgendes:

1. Oberboden — Lehm oder lehmiger Sand,
2. Unterboden — Löß oder lehmiger Ton,
3. Untergrund — Flinzton, lettiger Ton, glimmerreicher Feinsand, Sand oder Kies.

---

[1]) Das Staatsgut der Kgl. Bayer. Akademie Weihenstephan bei Freising. Geologisch-bodenkundlich bearbeitet von W. Koehne u. Münichsdorfer. München 1912.

Die Mächtigkeit der verschiedenen Schichten ist sehr wechselnd; der tertiäre Untergrund tritt z. B. manchmal nahe an der Oberfläche auf. Auf dem Jungbräuacker fehlt die Lößschicht ganz.

Die Beschaffenheit des Bodens auf diesem Felde ist bis zu 2 m Tiefe aus Koehnes Aufnahme ersichtlich.[1])

Tiefe der Entnahme	Bezeichnung der Probe	Bodenprofil
0,05—0,10 m	lehmig-toniger Feinsand	lehmig-toniger Feinsand, 4 dcm
0,40—0,45 m	verlehmter, feinsandiger Ton mit Krümelstruktur	verlehmter, feinsandiger Ton, 3 dcm lehmiger Sand, 3 dcm lettiger feinsandiger Ton, 10 dcm

Andere Einschläge auf diesem Acker zeigen:[2])

Nr. 43, Lehmboden 2, etwas sandiger lehmiger Ton 3, verlehmter Ton 5;

Nr. 180, Etwas sandiger lehmiger Feinsand 2, etwas lehmiger Ton 8;

Nr. 183, Lehmiger Sand 5, lehmiger Ton 5;

Nr. 205, Lehmiger toniger Feinsand 6, lehmiger Ton 4.

Diese Profile zeigen also die durchweg tonige Beschaffenheit des Unterbodens dieses Ackers. Sie ist zum Teil infolge des Durchschlämmens feiner Teilchen von oben nach unten bewirkt, zum Teil den tertiären Letten zu verdanken, die hier als Untergrund vorwiegen.

Nach Ramann gehört der Boden dem Braunerdetypus[3]) an. Er erklärt sich aus dem Klima[4]) bezw. der Verwitterung. Der Niederschlag schwankt zwischen 600 und 900 mm das Jahr, und obwohl die Verdunstung nicht genau bekannt ist, so ist doch sicher anzunehmen, daß die Sickerwasserbildung und das Auslaugen der Salze die Verdunstung des Wassers und den

[1]) Koehne: l. c. S. 19.

[2]) Koehne: l. c. S. 59, 61. Die Ziffern hinter der Schichtbezeichnung beziehen sich auf Dezimeter.

[3]) Koehne: l. c. S. 11.

[4]) Koehne: l. c. S. 89—92.

kapillaren Aufstieg der Salze überwiegen. Dies werden die Analysen auch noch nachher bestätigen. Die größten Regenmengen fallen in den Monaten Mai bis September und bilden etwa 66 % der jährlichen Niederschläge; die mittleren monatlichen Temperaturen sind dann natürlich auch am höchsten, nämlich etwa 14° bis 20° C. Der Jungbräuacker umfaßt eine ganz schwach geneigte Fläche. Das Regenwasser läuft daher weniger rasch von der Oberfläche ab und sickert mehr in den Boden hinein.

Über die neuere Geschichte dieses Ackers seien die folgenden Tatsachen hier angeführt.[1])

Der Boden ist voraussichtlich schon seit mehr als 50 Jahren beackert worden. Erst seit 1908 gehört dieser Acker zum Staatsgut, deshalb sind genaue Einträge aus der vorhergehenden Zeit nicht bekannt. Die Pflugfurche dieses Ackerfeldes schwankt in den verschiedenen Jahren um etwa 20 cm Tiefe. Tiefkultur mit Untergrundlockerung ist auf diesem Acker noch nicht durchgeführt worden.

Der Unterboden ist schwieriger zu bearbeiten als die Krume, die durch Vermengung mit ihm in ihrem physikalischen Verhalten verschlechtert wird. Professor Ahr meint, daß Mangel an Entwässerung größtenteils daran Schuld hätte. Ich werde dies später mit meinen Ergebnissen vergleichen. Die Düngung und der Ertrag der letzten vier Jahre sind folgende:

Jahr	Bepflanzung	Düngung (pro ha)	Ertrag (pro ha)
1910	Kartoffeln	Stallmist ca. 300 dz ½ dz 40 % Kalisalz 4 dz Superphosphat	180 dz
1911	Sommergerste	1½ dz 40 % Kalisalz 1½ dz Superphosphat 2½ dz Kalk	27 dz
1912	Winterweizen	Stallmist ca. 300 dz	24 dz
1913	Pferdebohnen	3 dz Superphosphat ¾ dz schwefelsaures Ammoniak	27 dz

Der Durchschnittsertrag ist daher als ein mittlerer zu bezeichnen.

[1]) Diese Mitteilungen sind mir freundlichst von Herrn Professor Ahr, Weihenstephan, gemacht worden.

§ 3. Die Beschaffung des Versuchsbodens.

Die Bodenproben wurden die erste Woche im Mai 1913 entnommen; der Acker war mit Pferdebohnen bepflanzt, die etwa 10 cm hoch waren. Der Boden war ziemlich feucht, da es die Tage zuvor geregnet hatte. Mit einem Eisenrohr[1]) von 10 cm Länge und 10 cm Durchmesser wurden Proben an drei Stellen entnommen, die etwa 10 m voneinander in einem Dreieck lagen und etwa den Stellen 43 und 180 auf Koehnes Karte[2]) entsprechen. Die Einschläge waren wie folgt:

I. Drei Proben { a) 0—10 cm Tiefe; b) 10—20 „ „; c) 22—32 „ „

Je vier Proben bei II. und III.:

a) 0—10 cm Tiefe, b) 10—20 „ „ } Krume

c) 22—32 „ „, d) 32—42 „ „ } Unterboden

Wie schon erwähnt, konnte die Grenze zwischen der Krume und dem Unterboden bei etwa 21 cm Tiefe ziemlich scharf beobachtet werden.

Der Boden wurde im Laboratorium an der Luft getrocknet und mittels eines Holzhammers zerbröckelt. Der lufttrockene Boden wurde dann durch ein 2 mm Rundlochsieb gesiebt, um den „Kies“ abzutrennen; dieser wurde auf dem Sieb gewaschen, dann getrocknet, gewogen und diente später zur petrographischen Untersuchung des Bodenskeletts. Die „Feinerde“ wurde für fast alle späteren Untersuchungen benutzt. Um die Lagerungsverhältnisse besser beurteilen zu können, wurden Anfang Dezember 1914 an weiteren zwei Stellen mit dem dcm³-Eisenrohr genaue Proben entnommen. Der Boden lag dann in Winter-

[1]) Siehe Ramann: a. a. O., S. 308.

[2]) Vergl. S. 15 dieser Arbeit.

brache und war mit Stallmist gedüngt. Die Profile IV und V wurden, wie folgt, ausgehoben:

a) 12—22 cm Tiefe Krume
b) 22—32 „ „ } Unterboden
c) 32—42 „ „ } Unterboden
d) 60—70 „ „ } Unterboden

Das Wetter war einige Tage vor der Entnahme heiter. Der Grundwasserstand wurde an der Stelle V zwischen 70 und 80 cm Tiefe beobachtet.

A. Physikalische Untersuchungen.

Die Lagerungsverhältnisse des Bodens.

Um das „Volumgewicht“ (scheinbares spezifisches Gewicht) des Bodens zu untersuchen, wurden die Proben der Profile IV und V noch am gleichen Tage der Entnahme gewogen, dann im Laboratorium ausgebreitet, an der Luft getrocknet und die Feuchtigkeit in dem lufttrockenen Boden bei 102° C bestimmt. Somit wurde das „Volumgewicht“ des Bodens berechnet.

Das wirkliche „spezifische Gewicht“ der Bodenteile in den verschiedenen Proben wurde, wie üblich, mit dem Pyknometer bestimmt. Das prozentuale „Porenvolumen“ (Hohlraumvolumen) ergibt sich dann aus der Formel:

$$\frac{(\text{wirkl. spez. Gewicht} - \text{scheinb. spez. Gewicht}) \times 100}{\text{wirkl. spez. Gewicht}}$$

Der ganze Wassergehalt sowie der Gehalt an Steinen (Teile > 2 mm) sind auch in die Tabelle eingetragen. (Tabelle I S. 19.)

Die Angaben wurden alle für den bei 102° C getrockneten Boden berechnet. Bemerkt sei noch, daß die Krumenprobe des IV. Profils mit ziemlich viel unzersetzter organischer Substanz vermischt war, die gewissermaßen wie ein Schwamm reagiert, daher der hohe Wassergehalt der Probe.

Tabelle I.

Die Lagerungsverhältnisse des Bodens.

Bodenschicht	Volumgewicht des Bodens	Spez. Gew. der Bodenteile	Porenvolum %	Wassergehalt %	Steine %
IV. a) 12—22 cm Tiefe	1,217	2,649	54,058	28,597	3,27
b) 22—32 „ „	1,351	2,685	49,683	24,411	1,19
c) 32—42 „ „	1,354	2,707	49,649	24,792	1,48
d) 60—70 „ „	1,452	2,805	48,235	22,720	1,93
V. a) 12—22 cm Tiefe	1,256	2,659	52,764	26,520	1,75
b) 22—32 „ „	1,366	2,702	49,445	25,359	0,43
c) 32—42 „ „	1,381	2,731	49,432	25,597	0,28
d) 60—70 „ „	1,494	2,837	47,339	23,157	0,05

Das spezifische Gewicht der Bodenteile wird einerseits durch den abnehmenden Gehalt an Humus nach der Tiefe beeinflußt, andererseits durch die Zunahme an spezifisch schwereren Mineralien (vergl. mineralog. Untersuchung).

Weiterhin zeigt das V. Profil, Schicht für Schicht mit IV verglichen, durchgehend ein etwas höheres spezifisches Gewicht der Bodenteile. Dies hängt damit zusammen, daß das IV. Profil an einer Stelle entnommen wurde, wo, wie die Aufnahme von Koehne zeigt, der Untergrund aus feinsandigem Ton besteht, während der Untergrund des V. Profils aus Flinzton zusammengesetzt ist. Das IV. Profil ist eben etwas grobkörniger, enthält also relativ mehr Quarz, und weniger schwere Mineralien als das V. Profil. Auch der Vergleich des Steingehalts der zwei Profile läßt die etwas gröbere Beschaffenheit des IV. Profils vermuten. Das V. Profil ist aber typischer für den Jungbräuacker, daher sind auch die ersten drei Profile gleichbedeutend mit V.

Die Tabelle zeigt also mit der Tiefe eine Zunahme des spezifischen Gewichts sowie des „Volumgewicht“ des Bodens. Daß die Volumgewichtszunahme nicht nur eine Folge der Zunahme des spezifischen Gewichts nach der Tiefe ist, sondern

auf eine Verdichtung des Unterbodens hindeutet, beweisen die Porenvolumina der verschiedenen Schichten. Der Wassergehalt und die Bodenluft, welche zusammen das Porenvolumen ausmachen, sind natürlich veränderliche Größen, je nach den jeweiligen Witterungsverhältnissen.

Interessant ist es auch zu sehen, wie die Lagerung auf die Wasserführung Einfluß hat. Bei dem IV. Profil ist die Lagerung durchgehend etwas weniger dicht und der Unterboden weniger naß als beim V. Im letzteren zeigte sich in der Tiefe solche Wasserstauung, daß im Gegensatz zum IV. Profil der Grundwasserstand bereits nahe unter 70 cm Tiefe beobachtet werden konnte.

Es ergibt sich aus diesen Untersuchungen über die Lagerungsverhältnisse des Bodens, daß der Unterboden zwar etwas verdichtet ist, aber von der Krume nicht so auffallend abweicht, um zu der Vermutung zu berechtigen, er könne eine erhebliche Verschlechterung des Bodens zur Folge haben, wenn er nach oben gebracht würde.[1]) Von einer ausgesprochenen „Pflugsohle“ ist hier also nicht die Rede. Andere Ursachen müssen somit ausschlaggebend sein, wenn dennoch eine Ertragsverminderung zu beobachten ist.

Die mechanische Analyse.

Die mechanische Analyse gibt uns einen Einblick in den Aufbau des Bodens und damit einen Anhalt für dessen wichtigste physikalische Eigenschaften. Die Methode hier benutzt, das Schlämmverfahren nach Schloesing-Hall, ist in England allgemein üblich. Sie wurde deswegen bevorzugt, weil sie den Boden in ziemlich viele Korngrößen zerlegt. Wie Hall und Russel gezeigt haben, ist es dies namentlich für die feinen Fraktionen von der größten Wichtigkeit. Die Methode ist für die bewirtschafteten Böden der südwestlichen Teile Englands[2])

[1]) Vergl. die Zahlen in Ramanns Bodenkunde. 1911. S. 309.

[2]) Hall and Russel: Agriculture and Soils of Kent, Surrey, Sussex. London 1911.

eingehend benutzt worden. Für diese Böden sind die Ertragsfähigkeit, die geologischen und klimatischen Verhältnisse ziemlich genau bekannt und man hat also wertvolle Ergebnisse zur Verfügung.

Der Niederschlag und auch wohl die Verdunstung dürften mit denen bei Freising ziemlich übereinstimmen.[1]) Das Verfahren wurde folgendermaßen ausgeführt.[2])

5 g Feinerde wurde mit wenig Wasser mittels eines Gummistopfens oder des Fingers zu einem Brei durchgearbeitet, um die Bodenkrümel zu zerstören, mit Wasser in ein Becherglas gespült, und mit wenig verdünnter Salzsäure gelinde erhitzt, um die Karbonate zu zersetzen. Hierauf wurde filtriert und ausgewaschen bis das Filtrat chloranionfrei war. Der Boden wurde in einen Schloesingschen Schlämmzylinder gespült, ein wenig Ammoniak zugesetzt, und destilliertes Wasser zugefüllt bis zur Marke (13 cm), alles tüchtig umgerührt und 24 Stunden stehen gelassen. Dann wurde bis 3 cm oberhalb des Bodens abgehebert, und die Operation wiederholt, bis die Flüssigkeit in der oberen 10 cm Wassersäule, nachdem sie 24 Stunden gestanden hatte, ganz klar war. Sämtliche Abgüsse wurden in einer großen Flasche vereinigt und der aufgeschlämmte „Ton" mittels einiger Tropfen Salzsäure[3]) ausgeflockt. Die überstehende Flüssigkeit wurde abgehebert und der Tongel in Quarzschalen auf dem Wasserbade zum Trocknen gedampft, dann geglüht und gewogen. Das Gewicht entspricht dem „Ton" (d. h. Bodenteile $< 0{,}002$ mm) ohne den löslichen Humus, der als temporärer, veränderlicher Faktor des Bodens zu betrachten ist und deshalb ausgeschaltet werden muß.

Für die folgenden Fraktionen wurde der Zylinder nur $7\,^1/_2$ cm über die 3 cm Marke aufgefüllt und auf die Rückstände das gleiche Verfahren wie vorher angewendet (einschließlich des Glühens).

---

[1]) Vergl. Hall and Russel: l. c. S. 18 mit Koehne a. a. O., S. 89—92.

[2]) Vergl. A. D. Hall: The Soil. London 1908. S. 50—54.

[3]) Der Zusatz von einigen Tropfen HCl hat keinen nennenswerten Fehler zur Folge, denn die leichtlöslichen Salze sind schon entfernt und das verbleibende NH_4Cl und die HCl werden verdampft.

Die Zeiteinheiten und Korngrößen sind folgende:

Feinschlamm	(0,002—0,005 mm)	nach 2 St. 5 Min.	stehen
Grobschlamm	(0,005—0,01 „)	„ 12 1/2 „	„
Staub	(0,01 —0,04 „)	„ 75 Sek.	„
Feinsand	(0,04 —0,25 „)	mittels eines Siebes getrennt.	
Grobsand	(0,25 —2 „)		

In der Tabelle wird auch der Schwebeschlamm (Teile $< 1/2\ \mu$), wie Mohr[1]) ihn in Java bestimmt, für sechs Proben angegeben. Mohr hat gezeigt,[2]) daß sich wertvolle Unterschiede manchmal herausstellen, wenn zwei sich ganz verschieden verhaltende Böden denselben „Ton“ oder gar die nämlichen „abschlämmbaren Teile“ zeigen.

Der Schwebeschlamm stellt den Teil des Bodens dar, welcher sich aus einer Wasserhöhe von 20 cm in einer Woche noch nicht absetzt. Mohr läßt die aufgeschlämmte Fraktion (Teile $< 2\ \mu$), die er durch Zentrifugieren und Sedimentieren erhält, in einem großen Zylinder (12 cm und 20 cm Wasserhöhe) eine Woche an einem ruhigen, lichtgeschützten Ort stehen, wo beachtenswerte Temperaturunterschiede nicht vorkommen. Die Flüssigkeit über dem Bodensatz hebert er ab, die dann nur noch spurenweise Teilchen größer als $1/2\ \mu$ enthält. Er tut dies nur einmal, obgleich der Bodensatz noch Teilchen kleiner als $1/2\ \mu$ enthält, denn für die Praxis wäre die Methode sonst zu umständlich und zeitraubend.

Die Methode wurde in der Weise abgeändert, daß 10 g Feinerde wie bei Hall mit Wasser, Salzsäure und Ammoniak behandelt wurde. Sie wurde nun in einen Zylinder von 12×25 cm gespült und dieser mit destilliertem Wasser bis 23 cm aufgefüllt. Nachdem der Zylinder eine Woche im Dunkeln gestanden hatte, wurde die Flüssigkeit bis 3 cm vom Boden sorgfältig abgehebert. Dies wurde dreimal gemacht; zuletzt war die überstehende Flüssigkeit nur noch schwach getrübt.

---

[1]) Bulletin du Département de L'Agriculture aus Indes Néerlandaises. Buitenzorg 1910. Nr. XLI, S. 17—19.

[2]) Ibid. 1911. Nr. XLVII, S. 57.

Die abgeheberte trübe Flüssigkeit wurde mittels Berckefeld-Filterkerzen und einer Wasserluftpumpe fast restlos abfiltriert. Die durch die Filterkerze und Saugpumpe abfiltrierte Flüssigkeit war durch löslichen Humus ein wenig braun gefärbt, enthielt aber keine anorganischen Teilchen. Der Schwebeschlamm wurde dann in einer Quarzschale eingedampft und trocken gewogen. Die Zahlen in der Tabelle entsprechen dem nicht geglühten Schwebeschlamm. Beim Glühen verliert er ungefähr 12% an Gewicht.

Die Feuchtigkeitszahlen entsprechen dem Wasserverlust des lufttrockenen Bodens bei 102° C., d. h. der Boden wurde so lange in ein Dampfbad von 102° gestellt, bis sein Gewicht konstant blieb.

Daß der Glühverlust uns eine irrige Vorstellung von der organischen Substanz bei tonreichen Böden gibt, ist ohne weiteres einleuchtend; so ist der Verlust im tieferen Unterboden hier größer als im oberen, was selbstredend mit dem höheren Gehalt an wasserhaltigen Silikaten in der untersten Schicht in Zusammenhang steht. Die organische Substanz wurde deshalb durch die Elementaranalyse ermittelt, wie sie in „Wahnschaffe und Schucht“[1]) beschrieben ist.

Karbonatgehalt. Die Bestimmung der wirksamen Karbonate ist für die richtige Erklärung der mechanischen Analyse von allergrößter Bedeutung. Wie die Elementaranalysen werden die Karbonatzahlen deshalb in diesem Abschnitt auch angeführt. Hier wurde die Methode von Amos[2]) benutzt, die wahrscheinlich die genaueste ist kleine Mengen wirksamer Karbonate zu bestimmen.

10 g Feinerde wurde mit etwa 5%iger Salzsäure in der Kälte behandelt. Das ausgetriebene Kohlendioxyd wurde durch Kalilauge absorbiert und durch Titration mit 10/N H_2SO_4 unter Verwendung von Phenolphthaleïn und Methylorange als Indikatoren ermittelt. Das Phenolphthaleïn zeigt bekanntlich den

[1]) Wahnschaffe und Schucht: Wissenschaftl. Bodenuntersuchung, 3. Aufl. 1913. S. 75—80.

[2]) Amos: Journal of Agricultural Science, Bd. I, S. 322—326. London 1905.

Endpunkt des Kaliumhydrats und das Methylorange den Endpunkt des Kal. Bikarbonats an. Man kann mehrere Analysen gleichzeitig ausführen. Ein Luftstrom wird langsam drei Stunden lang durch die Flaschen mit Boden und Salzsäure geleitet, die zu diesem Zwecke benötigt werden. Außerdem schaltet man einen Kontrollapparat von genau solcher Versuchsanordnung, nur ohne Boden, ein, um etwaige Fehlerquellen zu vermeiden. Die Zahlen in der Tabelle stellen die Prozentgehalte dar, die auf bei 102° C. getrocknetem Boden berechnet sind.

(Siehe Tabelle II S. 25.)

Die drei Profile zeigen so ziemlich das gleiche Bild, daß wir sie im allgemeinen nicht einzeln zu besprechen brauchen.

Das Zunehmen des „Tons“ mit der Tiefe ist aus der Tabelle ersichtlich, und zwar zeigt die vierte Schicht (32—42 cm Tiefe) eine ganz beträchtliche Zunahme. Sie enthält fast zweimal so viel „Ton“ wie die Krume. In den tieferen Schichten wird der Boden also immer feinkörniger, was aus der Koehneschen Aufnahme[1]) schon zu erwarten war. Somit nehmen die Wasserkapazität, die Klebrigkeit und verwandte Eigenschaften des „Tons“ mit der Tiefe zu. Für ackerbauliche Zwecke wird der Unterboden von vornherein daher schwieriger zu bearbeiten sein; die Erfahrung bestätigt es. Daß der Boden aber bis zu der untersuchten Tiefe (42 cm) noch in einen gesunden physikalischen Zustand bzw. Krümelstruktur gebracht werden könnte — mit entsprechendem Humus und Karbonatgehalt —, ist ohne weiteres klar aus der Kenntnis, die man bis jetzt aus mechanischen Analysen besitzt.[2])

Der Gesamtschlamm (0,01—0,002 mm) steht eben an der Grenze, über welche hinaus ein Boden nach Hall and Russel sich sehr schwer bearbeiten läßt, weil die Klebrigkeit sehr erhöht wird und Kalk bei dieser Fraktion anscheinend nicht ausflockend wirkt.[3])

---

[1]) Vergl. diese Arbeit S. 15.

[2]) Vergl. Russel: Soil Conditions and Plantgrowth. London 1912. S. 62.

[3]) Hall and Russel: Journal of Agricultural Science, Bd. IV, S. 201. 1912.

Tabelle II.

Mechanische Analyse (nach Schloesing-Hall).

Profil	I			II				III			
Schichtbezeichnung	Ackerkrume		Unterboden	Ackerkrume		Unterboden		Ackerkrume		Unterboden	
Tiefe in cm	a 0—10	b 10—20	c 22—32	a 0—10	b 10- 20	c 22—32	d 32—42	a 0—10	b 10—20	c 22—32	d 32—42
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Steine (> 2 mm)	3,88	3,52	1,21	2,22	4,11	0,75	0,48	2,43	3,98	1,47	0,66
Grobsand (2—0,25 mm)	9,5	9,1	8,4	9,1	9,0	8,6	6,2	9,7	9,6	8,5	9,8
Feinsand (0,25- 0,04 mm)	22,1	22,5	21,0	22,9	22,2	21,7	18,8	21,5	22,0	22,7	19,1
Staub (0,04—0,01 mm)	26,2	27,0	28,0	25,5	26,2	27,0	24,1	27,5	27,5	27,8	22,3
Schlamm (0,01—0,005 mm)	10,2	10,0	8,9	10,0	10,1	9,6	9,7	9,3	9,1	9,4	9,3
Feinschlamm (0,005—0,002 mm)	6,4	5,6	6,1	6,4	5,4	5,6	6,2	6,0	5,5	5,8	4,8
Ton (< 0,002 mm)	13,0	14,0	18,5	13,2	14,3	16,9	24,0	13,5	14,2	16,2	23,6
Schwebeschlamm (< $^1/_2$ µ)	—	–	—	10,75	9,8	13,25	19,3	—	9,2	13,2	—
Glühverlust	7,15	6,96	4,74	7,14	6,70	4,73	4,75	6,85	6,01	4,57	4,71
Organische Substanz	3,13	3,03	1,42	3,18	2,74	1,43	0,78	2,97	2,79	1,39	0,65
Feuchtigkeit	2,38	2,41	2,47	2,36	2,29	2,15	3,11	2,31	2,19	2,15	2,98
$CaCO_3$	0,70	0,53	0,14	1,05	0,92	0,18	0,12	1,05	0,77	0,15	0,10

Bemerkenswert ist, daß der Schlamm mit der Tiefe eher ab- als zunimmt. Weil die Krume nicht als schwer zu bearbeiten gilt, so wirkt wohl die organische Substanz bei dieser Fraktion ausgleichend, wie Hall and Russel auch beobachtet haben. Hall and Russel haben bewiesen, daß der „Feinschlamm“ chemisch dem „Ton“ sehr nahe steht und vom „Grobschlamm“ ziemlich verschieden ist. Er ist aber nur in kleinen Mengen vorhanden und bleibt auch ziemlich konstant im Profil, deshalb ist der Fruchtbarkeitsunterschied nicht ihm zuzuschreiben.

Der Staub ist in günstiger Menge vorhanden und zwar ziemlich gleichmäßig bis zu 30 cm Tiefe und nimmt dann nach unten zu etwas ab. Er fördert die kapillare Bewegung des Wassers und spielt überhaupt eine wichtige Rolle im Wasserhaushalt des Bodens, indem er den Feuchtigkeitsgrad für das Pflanzenwachstum günstig gestaltet. Wie die gröberen Fraktionen verhindert er eine zu dichte Lagerung der feineren Teilchen.

Der Feinsand hat bei tonreichen Böden die wichtige Aufgabe zu erfüllen, den Boden locker und porös zu gestalten, einen raschen Gasaustausch zu ermöglichen und die Erwärmung und Wasserbewegung im Boden zu erhöhen.

Der Grobsand fördert in noch größerem Maßstabe diese Aufgaben. Atterberg[1]) gibt an, daß diese Fraktion für die Wasserführung im Boden maßgebend sei.

Der gesamte Sand- und Staubgehalt bleibt für die ersten drei Schichten ziemlich konstant und nimmt dann in vierter Schicht etwa 8% ab. Dies erklärt die Bindigkeit der vierten Schicht teilweise, aber das schlechte physikalische Verhalten des ganzen Unterbodens ist doch auschlaggebenderen Ursachen zuzuschreiben. Der Karbonat- und Humusgehalt ist nämlich im Unterboden bei weitem zu gering, um diesen tonigen Lehm locker zu gestalten.

---

[1]) Landw. Versuchs-Stat., Bd. LXIX, S. 136. 1908.

Karbonatgehalt. Die wichtigsten Aufgaben des Kalkes im Boden sind, erstens den Boden in absorptiv gesättigten (d. h. nicht sauren) Zustand zu bringen und zweitens, die Bodenkolloide in ausgeflocktem Zustande zu behalten. Die erste Aufgabe muß er erfüllt haben, bevor er die zweite lösen kann.[1])

Genaue Angaben über den Tongehalt und den erforderlichen Kalkgehalt gibt es in der Literatur noch nicht und sind auch schwierig aufzustellen, weil veränderliche Faktoren, wie die Lage des Bodens, die Witterungsverhältnisse u. s. w. mitbestimmend sind. Für den Unterboden hier mit 17—24% „Ton“ steht es jedenfalls fest, daß mindestens 2% $CaCO_3$ erforderlich ist, um ihn physikalisch günstig zu gestalten. Statt dessen ist in dem hier untersuchten Boden das wirksame Karbonat beinahe vollständig ausgewaschen, und obwohl er sich noch im gesättigten Zustande befindet, so ist doch klar, warum er so klebrig, schwer zu bearbeiten und für Wasser schwer durchlässig ist. Wie in allen humiden Gebieten, so wird auch hier der Kalk durch die reichlichen Niederschläge ständig weggeführt. Das Wasser reichert sich im Boden an Kohlensäure an, löst den Kalk und wäscht ihn aus. In der Krume schreitet die Verwitterung — hier namentlich des Kalksteins[2]) — rasch fort und wenn man noch Kalkdüngung hinzufügt, wird der Verlust ausgeglichen. Im unmittelbaren Unterboden aber, der lange unberührt daliegt, ist der Kalkverlust am größten, weil die Verwitterung weniger um sich greift und das kohlensäurehaltige Wasser hier viel konzentrierter ist als in der Krume. Dies liegt wieder daran, daß gerade über und auch noch in dieser Schicht die Pflanzenwurzeln sich befinden und deren Atmung wohl für den Kohlensäuregehalt der Bodenluft in erster Linie in Frage kommt. Der Unterboden ist auch relativ verdichtet und eine Ansammlung des Gases geht also

[1]) Vergl. Gans: Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, Bd. III, S. 555. 1913.

[2]) Vergl. auch die mineralog. Analyse, S. 34 f. dieser Arbeit.

leichter vor sich.[1]) Ferner findet ein nennenswerter Verlust von Kalk im Unterackerboden infolge jahrzehntelanger Kalkentziehung durch die Pflanzenwurzeln statt.

Merkwürdig ist die für humide Böden allgemeine Annahme, daß der Unterboden relativ kalkreicher sei als der Oberboden; dies gilt aber durchaus nicht für beackerten kalkärmeren Boden, eine Tatsache, die bei weitem zu wenig beachtet wird, obwohl sie einwandfrei bei Rothamsted (England), Göttingen u. s. w. festgestellt wurde. Bei Rothamsted[2]) z. B. ergaben jahrzehntelang durchgeführte Boden- und seine Drainwasseranalysen, daß der lösliche Kalk sich fast gar nicht ausscheidet, daß im Gegenteil beinahe das ganze der Krume entzogene Kalzium im Drainwasser wiedergefunden wird. Je nach dem angewendeten Dünger erscheint es in Form von Bikarbonat, Sulfat, Chlorid und Nitrat.[3]) So ergab in dem hier untersuchten Boden selbst die tiefe Schicht von 60—70 cm kein wirksames Karbonat.

Es ist daher einleuchtend, daß wir dem Unterboden durch alleinige Bearbeitung und Bemergelung der Krume nicht Kalk zuführen können, sondern er muß umgearbeitet und mit der Krume gemischt werden, wenn eine Bemergelung von Nutzen sein soll.

Der Humusgehalt ist bekanntlich in humiden Gebieten viel größer in der oberen Bodenschicht als in der unteren, zumal in schweren Ackerböden tritt dies deutlich hervor, weil das Wurzelsystem dann hauptsächlich in der Krume verbreitet ist. Nur wenig organische Substanz gelangt somit zum Unterboden, besonders wenn, wie hier, die Krume gesund gehalten wird und keine beweglichen ungesättigten Humusstoffe sich bilden können. Bei Rothamsted[4]) wurde z. B. gezeigt, daß die organische Substanz in der Krume völlig absorbiert wird, und selbst nach 50jähriger Behandlung mit Stallmist war der Unterboden kaum reicher an organischer Substanz bezw. Stickstoff.

---

[1]) Vergl. Ramann: a. a. O., S. 390.

[2]) Hall: The Soil. 1908. S. 222—224.

[3]) Auch der Basen-Austausch spielt hier eine Rolle.

[4]) Russel: a. a. O., S. 56.

Um den Unterboden an organischer Substanz zu bereichern, müssen wir daher die Krume durch entsprechendes Tiefpflügen allmählich vertiefen. Dies ist hier dringend geboten, um den tonigen Unterboden lockerer zu gestalten und eine bessere Durchlüftung, Drainierung sowie die „Bodengare“ zu erzielen.[1])

Die Feuchtigkeit (Wasserverlust des lufttrockenen Bodens bei 102° C) ist hauptsächlich vom Humus-, Schlamm- und Tongehalt abhängig. In der dritten Schicht ist sie bei Proben II und III etwas geringer als in der Krume. Die Erklärung dafür ist, daß der höhere Tongehalt nicht den Mangel an genügendem Humus auszugleichen vermag. Die dritte Schicht ist infolge des geringen Gehalts an Karbonat und Humus schwerer zu bearbeiten und trocknet doch an der Oberfläche mehr aus als die Krume. In der vierten Schicht ist der hohe Tongehalt maßgebend. Das Profil I weist mehr Ton in der dritten Schicht als die anderen Profile in entsprechenden Schichten auf und zeigt deshalb die zunehmende Feuchtigkeit.

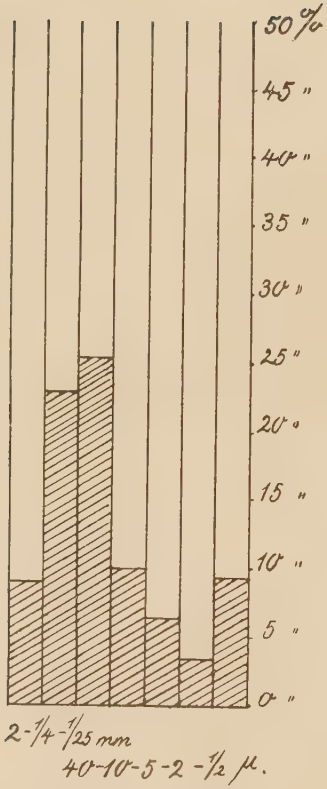
Zum Schluß muß der Schwebeschlamm (nach Mohr) noch besprochen werden. Er gibt uns in den verschiedenen Schichten keine besonderen Aufschlüsse, d. h. er zeigt uns durchweg dasselbe Verhältnis wie der „Ton“, von dem er ungefähr 80% ausmacht. Um ein übersichtliches Bild der ganzen mechanischen Analyse zu geben, sei das Profil II hier graphisch dargestellt. Sämtliche Fraktionen beziehen sich auf geglühte Rückstände. (Siehe S. 30 u. 31.)

Das Profil zeigt uns in der Krume ein einheitliches Bild, weil diese Schicht ja jedes Jahr mit dem Pflug durchgemischt wird. Die dritte Schicht hat etwas weniger Sand, dagegen fast ebensoviel Staub, Schlamm, Feinschlamm und „sehr Feinschlamm“ (2—1/2 μ), während der Schwebeschlamm etwas zunimmt. Ihr Aufbau ist daher sehr wenig von der Krume verschieden.

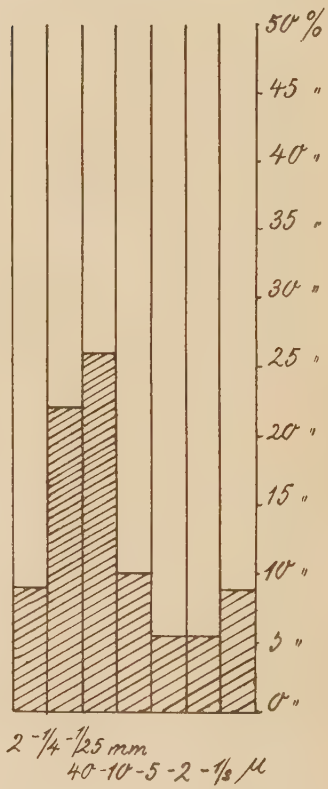
Die vierte Schicht hat weniger Sand und Staub, ungefähr dieselben Mengen der drei weiteren Fraktionen, dagegen nimmt der Schwebeschlamm sehr zu. Ihr Aufbau ist deshalb von den

[1]) Vergl. auch Whitson und Delwiche: The Management of heavy clay soils. Exp. Stat. Record., Bd. XXV, S. 19. 1911.

Graphische Darstellung



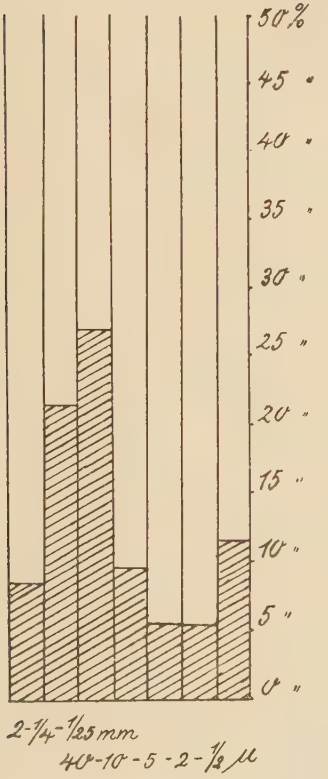
IIa (0—10 cm Tiefe).



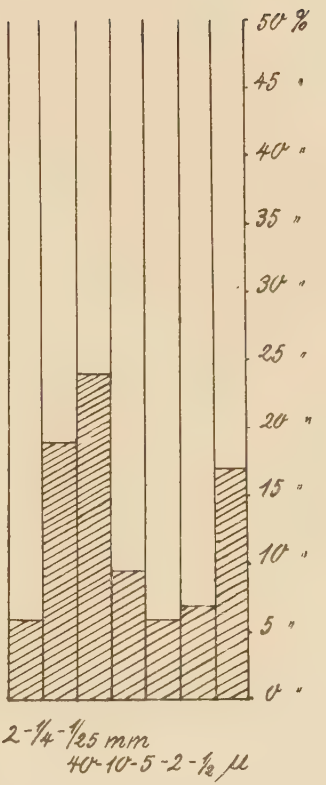
IIb (10—20 cm Tiefe).

2—1/4 mm	=	
1/4—1/25 „	=	
40—10 µ	=	
10— 5 „	=	
5— 2 „	=	
2—1/2 „	=	
<1/2 „	=	

der Schlämmanalyse.



II c (22—32 cm Tiefe).



II d (32—42 cm Tiefe).

Grobsand,
Feinsand,
Staub,
Schlamm,
Feinschlamm,
sehr Feinschlamm,
Schwebeschlamm.

oberen Schichten wesentlich verschieden und bewirkt die abweichende Kohäsion, Durchlüftung und Wasserführung. Der Zustand läßt sich in der Praxis verbessern durch entsprechend mehr Kalk und organische Substanz.

Interessant ist, wie das Mohrsche Verfahren denselben Aufbau des „Tons“ im ganzen Profil zeigt, der Schwebeschlamm macht nämlich etwa vier Fünftel des ganzen „Tons“ aus. Es beweist, daß der „Ton“ hier bis zu der untersuchten Tiefe gleichstark verwittert ist, wie überhaupt die mechanische Analyse uns einen Einblick in den Verwitterungsgrad gibt. Wir werden später sehen, daß der „Ton“ auch chemisch ziemlich einheitlich zusammengesetzt ist. Es gibt auch Böden, in denen der „Ton“ mechanisch sehr verschieden aufgebaut fst, wie Mohrs Arbeit zur Genüge zeigt. Leider wissen wir noch nicht, ob besondere Wirkungen dieser zwei Fraktionen des „Tons“ vorhanden sind. Weil der „Ton“ hier keine prozentualen Unterschiede an Schwebeschlamm aufweist, können keine theoretischen Schlußfolgerungen gezogen werden.

Da das Kopeckysche Spülverfahren[1]) neuerdings für mechanische Analysen viel angewendet wird, seien hier noch die Analysen nach dieser Methode für die Profile II und III gegeben:

Tabelle III.

Mechanische Analyse nach Kopecky.

Bodenprobe	Fraktionen			
	Sand (2—0,1 mm)	Staubsand (0,1—0,05 mm)	Staub (0,05—0,1 mm)	Abschlammbare Teile (< 0,01 mm)
II. a) 0—10 cm Tiefe	19,14%	19,58%	40,74%	20,54%
b) 10—20 „ „	19,06 „	19,06 „	39,36 „	22,52 „
c) 22–32 „ „	20,56 „	16,48 „	39,52 „	23,44 „
d) 32—42 „ „	18,58 „	13,80 „	39,92 „	27,70 „
III. a) 0—10 cm Tiefe	16,54%	14,74%	41,51%	27,22%
b) 10—20 „ „	16,52 „	12,36 „	43,80 „	27,32 „
c) 22–32 „ „	17,68 „	12,94 „	40,36 „	29,02 „
d) 32—42 „ „	21,96 „	8,82 „	36,94 „	32,28 „

[1]) Wahnschaffe und Schucht: a. a. O., S. 50—51.

Es ist einleuchtend, daß dieses Verfahren bei weitem nicht ein so genaues Bild über die Zusammensetzung des Bodens gibt, wie das vorherbeschriebene. Die abschlämmbaren Teilchen der Schichten **a** und **d** zeigen eine Differenz von nur 5—7%, obwohl der Unterboden schon bei oberflächlicher Betrachtung viel toniger aussieht. Eine Bestimmung des „Tons“ nach Schloesing muß daher mit dieser Methode immer verbunden sein, wenn man überhaupt etwas Genaues wissen will. Selbst die anderen Fraktionen zeigen im Vergleich zur vorigen Methode unerklärliche Abweichungen, obwohl die Analysen mehrmals wiederholt wurden. Die Methode zeigt uns eben nicht die genaue elementare Zusammensetzung des Bodens, weil die „Krümel“ durch Wasserbehandlung allein nicht völlig zerlegt werden.[1]) Falls man aber gar noch ausflockungsfähiges kalkreiches Wasser anwendet, so ist klar, daß die gröberen Fraktionen einen höheren Gehalt aufweisen müssen, als ihnen wirklich entspricht.

Hygroskopizität. Die Hygroskopizität wurde nach der Methode Mitscherlich[2]) bestimmt und gibt uns bekanntlich einen Maßstab für die Gesamtoberfläche eines Bodens — organische und unorganische.

Tabelle IV.

Hygroskopizität (nach Mitscherlich).

Bodenprobe	Feuchtigkeit (über P_2O_5)	Hygroskopizität	Bodenoberfläche von 1 g Boden
II. a) 0—10 cm Tiefe	2,16%	5,589%	226,9 qm
b) 10—20 „ „	2,09 „	5,409 „	219,6 „
c) 22—32 „ „	1,95 „	5,267 „	213,8 „
d) 32—42 „ „	2,88 „	7,325 „	297,4 „

Für die ersten drei Schichten ist der Humusgehalt ausschlaggebend, während der viel höhere Tongehalt der vierten

[1]) Vergl. Hall and Russel: Journal of Agricultural Science. 1912. Bd. IV, S. 196.

[2]) Mitscherlich: Bodenkunde. 1913. S. 65 ff.

Schicht die steigende Hygroskopizität bezw. Bodenoberfläche hier bedingt. Die Kohäsion vergrößert sich und die sonstigen physikalischen Eigenschaften werden beeinflußt, wie schon auf S. 24 ff. betont wurde. Die Hygroskopizität bestätigt somit einige der Schlüsse, die schon aus der mechanischen Analyse gezogen sind, ohne weitere Anhaltspunkte für den Fruchtbarkeitsunterschied im Unterboden zu geben.

B. Mineralogische Untersuchungen.

Die mineralogische Bodenanalyse bildet eine wertvolle Ergänzung der chemischen und physikalischen Bodenuntersuchungsmethoden, namentlich da manche dieser Ergebnisse erst dadurch richtig gedeutet werden können.

Der Boden wurde in der Weise untersucht, daß zuerst das „Bodenskelett" (Teile > 2 mm) auf seine Gesteinsfragmente und Mineralien makroskopisch geprüft wurde. Als durchschnittliche Zusammensetzung des Bodenskeletts im Profil ergab sich folgendes:

Tabelle V.

Bodenskelett (von einem dcm³ Boden).

Bodenschicht	0–20 cm Tiefe	22–32 cm Tiefe	32–42 cm Tiefe	60–70 cm Tiefe
Petrographische Zusammensetzung	1. ca. $^2/_3$ Gesteinsdetritus 2. ca. $^1/_6$ dichter Kalk 3. ca. $^1/_6$ Eisenkonkretionen 4. Einige Ziegelsteinbröckchen	1. Mehr als $^2/_3$ Gesteindetritus 2. ca. $^1/_{10}$ Kalk 3. ca. $^1/_6$ Eisenkonkretionen	1. Fast alles Gesteinsdetritus 2. Spurenweise Kalk 3. Einige Eisenkonkretionen	1. Alles Gesteinsdetritus 2. } Kalk und 3. } Eisenkonkretionen spurenweise

1. Der Gesteinsdetritus besteht überwiegend aus Quarz in Form von gerundeten Körnern oder eckigen Bruchstücken, dann in weit geringeren Mengen aus eckigen Phyllitbruch-

stücken, in welchen man die Glimmerblättchen mit dem bloßen Auge sehen kann, sowie aus gerundeten Sandsteinkörnern. Die größeren Quarzkörner und Quarzbruchstücke rühren von Quarzlagen im Phyllit her.

2. Der Kalk tritt in gerundeten Körnern und in Bruchstücken auf. Das wichtigste für uns ist, daß seine Menge nach der Tiefe auffallend stark abnimmt, so daß man schon durch diese Beobachtung einen Kalkmangel im Untergrund vermuten könnte oder wenigstens, daß fast kein Reservekalk im Unterboden vorhanden ist.

3. Die Eisenkonkretionen sind durchgehend von 2—4 mm Größe und bestehen aus Eisenoxydhydrat mit Feinsand, Staub u. s. w. gemischt. Die Menge nimmt auch stark nach der Tiefe ab, aber in den Sandsortimenten sämtlicher Schichten kommen die Erzstückchen auch noch häufig vor.

Dies bestätigt auch die chemische Analyse[1]) der „Feinerde", so daß wir annehmen müssen, daß die bessere Durchlüftung der Krume und des flacheren Unterbodens die Bedingung ist für eine größere Kornbildung. Die Eisenbakterien spielen gewiß auch hier eine Rolle. Weil die Körner nur spurenweise Mangan enthalten, müssen wir vermuten, daß auch die chemische Analyse nicht viel Mangan aufweist,[1]) denn sonst reichert sich das verwitterte Mangan als Hydrat in diesen Körnern an.

Aus dem Bodenskelett können wir also ableiten, daß der Boden angeschwemmt worden ist. Er rührt von kristallinischem Schiefer (Phyllit) und Sedimentgesteinen (Sandstein und Kalkstein) her. Das Bodenskelett bildet nur einen kleinen Teil des ganzen Bodens[2]) und nimmt durchschnittlich noch stark in der Tiefe ab. Gerölle größer als ein Zentimeter kommen nur ausnahmsweise vor.

Die ersten drei Kornsortimente der „Feinerde", durch den Kompeckyschen Apparat gefunden, wurden mit dem Polari-

[1]) Vergl. Tabelle S. 40.
[2]) Vergl. Mechanische Analyse, S. 25.

sationsmikroskop auf ihre Mineralien untersucht.[1]) Es zeigte sich, daß die drei Fraktionen mineralogisch gleichartig zusammengesetzt waren. Daher genügte die Untersuchung der Feinsande, die am leichtesten auszuführen ist, weil viele Mineralien, wie die Feldspate, in den feineren Fraktionen sich nur mühselig feststellen lassen.

Die Sandfraktion wurde durch Siebe geschlagen, um die gröberen Teile abzutrennen, die nur aus Quarzkörnern und Eisenkonkretionen bestehen. Der feinere Teil wurde mittels Thouletscher Lösung getrennt. Mit der konzentrierten Lösung (spez. Gew. 3,2) fielen die Erze, Granat, Staurolith, Disthen u. s. w. aus. Hierauf wurde die Lösung ein wenig verdünnt und die Glimmer, der Kalk und unreiner Limonit setzten sich ab. Zurück blieben die Feldspate und Quarzkörner.

Tabelle VI.

Mineralogische Zusammensetzung des Feinsandes und Staubs.

Es bedeutet: hh = sehr häufig; h = häufig; zh = ziemlich häufig; ss = sehr selten; s = selten; zs = ziemlich selten.

Bodenschicht	Feldspat	Glimmer (Muskovit) Hornblende (grün)	Chlorit	Granat	Staurolith	Disthen	Titanit	Zirkon	Kalk	Erz
0—20 cm Tiefe	h	hh s	zh	hh	zh	zh	zs	s	h	hh
22—32 „ „	h	hh zs	zh	hh	h	zh	zs	s	s	hh
32—42 „ „	h	hh zs	h	hh	h	zh	s	s	ss	hh
60—70 „ „	h	hh zs	h	hh	h	zh	s	s	—	hh

Quarz ist der häufigste Gemengteil und daher in der Tabelle ausgelassen. Die Tabelle zeigt deutlich, daß das Profil durchaus mineralogisch einheitlich zusammengesetzt ist. Nur der Kalk verschwindet mit der Tiefe.

[1]) Als Nachschlagebücher empfehlen sich: E. Weinschenk: Die gesteinsbildenden Mineralien, 3. Aufl. 1915. F. Seemann: Leitfaden der mineralogischen Bodenanalyse. 1914.

Die Feldspate scheinen der Lichtbrechung nach vorwiegend aus natronreichen Plagioklasen zu bestehen. Mikroklin kommt auch mitunter vor und ist durch die Gitterstruktur und das frische Aussehen leicht zu erkennen. Er verwittert bekanntlich sehr schwer.

Die Glimmerarten bestehen vorwiegend aus Muskovit, obwohl es manchmal schwer ist, ausgebleichten Biotit von ihm zu unterscheiden. Die Glimmer reichern sich in dem Staubsand und Staub an.

Namentlich in den oberen Schichten weist der Chlorit oft einen verrosteten Rand auf. Die grüne Hornblende ist durch ihren Pleochroismus und seltener durch Spaltrisse leicht erkennbar. Das Erz besteht aus Magnet- und Titaneisen und Limonit.

Über die anderen Mineralien läßt sich nichts Besonderes sagen. Sie sind gegen die Verwitterung sehr widerstandsfähig und haben als Nährstoffquellen wenig Interesse.

Der Apatit war nicht auffindbar. Er dürfte wohl hauptsächlich in den abschlämmbaren Teilen sich befinden.

C. Chemische Analysen.

Elektrolytische Leitfähigkeit.

Die elektrolytische Leitfähigkeit, obwohl eine rein physikalische Bestimmung, wird unter diesem Kapitel zunächst angeführt, weil sie uns einen Maßstab für die Menge der wasserlöslichen Salze im Boden gibt. Sie stellt somit eine Art von Ersatz eines Wasserauszugs des Bodens dar. 25 g lufttrocknen Bodens wurde 24 Stunden lang unter mehrmaligem Umschütteln mit 75 ccm destilliertem Wasser extrahiert. Die elektrolytische Leitfähigkeit bezw. der elektrolytische Widerstand dieses Extraktes wurde gemessen. Die Zahlen für die Profile I und II sind folgende:

Tabelle VII.

Elektrolytische Leitfähigkeit.

Entnahmestelle	I			II			
Bodenschicht	Ackerkrume		Unterboden	Ackerkrume		Unterboden	
Tiefe in cm	0—10	10—20	22—32	0—10	10—20	22—32	32—42
Elektrolyt. Leitfähigkeit	$2{,}76.10^{-4}$	$2{,}56.10^{-4}$	$2{,}02.10^{-4}$	$2{,}86.10^{-4}$	$2{,}66.10^{-4}$	$1{,}85.10^{-4}$	$1{,}34.10^{-4}$

Aus der Tabelle ergibt sich, daß die Wasserlöslichkeit der Salze dieses Bodens als günstig zu bezeichnen und viel höher ist als z. B. durchschnittlich bei den Niederterrassenböden bei München.[1]) Bezeichnend ist die Abnahme der löslichen Salze nach der Tiefe. Die dritte Schicht weist auffallenderweise eine höhere Leitfähigkeit als die vierte auf. Die weiteren Analysen werden zeigen, daß die dritte Schicht weniger Basen enthält als die vierte, und man sollte deshalb zunächst meinen, daß der höhere Gehalt an Humus in der dritten Schicht ausschlaggebend sei. Davis[2]) hat aber gezeigt, daß der Humus einen hemmenden Einfluß auf die elektrolyt. Leitfähigkeit ausübt. Daher muß der höhere Gehalt an wirksamem Karbonat in der dritten Schicht der vierten gegenüber in dieser Beziehung maßgebend sein.[3])

Der Salzsäure-Auszug.

Es wird jetzt allgemein erkannt, daß die chemische Bodenanalyse als Mittel zur Feststellung des Nährstoff- und Düngerbedarfs eines Bodens für Ackerbauzwecke uns im allgemeinen nicht den richtigen Aufschluß gibt, gleichviel welche Methode auch angewendet wird. Für die Erkenntnis der Verwitterungs-, Auslaugungs- und sonstige Prozesse, die sich im Laufe der Zeit im Boden abgespielt haben, gibt sie jedoch die wertvollsten

[1]) Blatt Baierbrunn, Nr. 713. Koehne u. Nicklas. München 1914. S. 70.
[2]) Davis: Experimental Stat. Record, Bd. XXIV, S. 20. 1911.
[3]) Vergl. auch die Absorptionsfähigkeit, S. 49.

Anhaltspunkte. Die von mir benutzte Salzsäure-Extraktionsmethode wurde ausgeführt, wie es bei den deutschen landwirtschaftlichen Versuchsstationen üblich ist: 50 g lufttrocknen Feinbodens wurde mit 10%iger Salzsäure drei Stunden lang auf dem Wasserbade unter mehrmaligem Umschütteln extrahiert. Danach wurde das übliche Verfahren angewendet, um die organische Substanz zu zerstören und die Kieselsäure unlöslich zu machen. Durch Abzug des Fe_2O_3 (durch Permanganat-Titration bestimmt) und P_2O_5 von der Gesamtmenge Al_2O_3, Fe_2O_3 und P_2O_5 wurde die Tonerde bestimmt. Kali und Phosphorsäure wurden nach der Naubaurschen Methode[1]) bestimmt. Das Kali wurde zuletzt durch Überchlorsäure und die Phosphorsäure[2]) durch Lösen des gelben Niederschlags des Ammoniumphosphomolybdats mittels einer etwa drittel normalen Kalilauge und mittels Titration durch Schwefelsäure von derselben Konzentration (mit Phenolphthalein als Indikator) bestimmt. Jedes Kubikzentimeter Kalilauge entspricht 0,001 g P_2O_5. Der unlösliche Bodenrückstand wurde mit 5%igem Na_2CO_3 unter Zusatz von etwa 0,5%igem NaOH[3]) eine Viertelstunde auf dem Wasserbade extrahiert, um die Kieselsäure, die aus den verwitterten Silikaten durch Salzsäure freigeworden war, zu lösen. Nach Eindampfen mit Salzsäure wurde sie dann bestimmt.

Der Gesamtstickstoff wurde nach Kjeldahl bestimmt.

(Tabelle VIII. S. 40.)

Wie meine oben dargelegten Untersuchungen, so ergibt auch die chemische Analyse für die drei Einschläge ziemlich das gleiche Profil. Infolgedessen erübrigt sich deren einzelne Besprechung.

Schon die unlöslichen Rückstände zeigen, daß die dritte Schicht (22—32 cm Tiefe) einen geringeren löslichen bezw. zersetzbaren Teil enthält als die Krume und der tiefere Unterboden. Auch die lösliche Kieselsäure ist ein Maßstab für den

[1]) Landw. Versuchs-Stat. 1905, LXIII, S. 321—323.
[2]) E. J. Russel: Soil Conditions and Plantgrowth. 1912, S. 151.
[3]) Wahnschaffe und Schucht: a. a. O., S. 144.

Tabelle VIII.

Bodenauszug mittels 10% HCl.

Profil	I			II				III			
Bodenschicht	Ackerkrume		Unterboden	Ackerkrume		Unterboden		Ackerkrume		Unterboden	
Tiefe in cm	a 0—10	b 10—20	c 22—32	a 0—10	b 10—20	c 22—32	d 32—42	a 0—10	b 10—20	c 22—32	d 32—42
Unlöslicher Rückstand . . .	88,72	89,08	90,02	88,28	88,68	90,60	88,94	88,90	88,92	90,32	89,32
SiO_2 (löslich in HCl) . . .	0,0922	0,0904	0,0851	0,0876	0,0864	0,0811	0,0981	0,0868	0,0930	0,0794	0,1016
SiO_2 (löslich in Lauge) . .	—	—	—	2,9644	2,9565	2,8031	3,1822	3,0483	3,0021	2,7412	3,2047
Fe_2O_3	2,9868	3,0496	3,4268	2,6732	2,7032	3,3390	4,1872	2,6712	2,7348	3,4394	4,1340
Al_2O_3	1,9824	2,0054	1,9671	2,0533	2,0758	1,9855	2,3706	2,0442	2,0772	1,9791	2,3867
Mn_3O_4	—	—	—	0,1900	0,1860	0,1820	0,1780	—	—	—	—
CaO	1,0990	0,955	0,438	1,216	1,012	0,353	0,511	1,199	1,083	0,436	0,520
MgO	0,8190	0,7635	0,6718	0,8675	0,7712	0,6646	0,7638	0,8168	0,8102	0,6652	0,7704
K_2O	0,1209	0,1181	0,1032	0,1131	0,1125	0,0960	0,0985	0,1190	0,1187	0,0965	0,1006
P_2O_5	0,1245	0,1280	0,0780	0,1275	0,1170	0,0755	0,0794	0,1166	0,1160	0,0776	0,0925
SO_3	0,0360	0,0359	0,0246	0,0332	0,0322	0,0296	0,0320	0,0304	0,0318	0,0234	0,0310
N	0,1905	0,1877	0,0994	0,1751	0,1681	0,1022	0,0672	0,1765	0,1737	0,1001	0,0594

Verwitterungsgrad der vorhandenen Silikate und ist in der dritten Schicht weniger als in den drei anderen enthalten. Hierauf komme ich noch später zu sprechen.

Der Eisengehalt nimmt mit der Tiefe ständig zu. Er hat mit der Fruchtbarkeit scheinbar wenig zu tun,[1]) sofern er nicht in Ferroform vorhanden ist. Das ist hier nicht der Fall.

Der Tonerdegehalt ist etwas geringer in der dritten Schicht als in der Krume und nimmt dann in der vierten zu. Die Ursache dafür liegt zum Teil im höheren Tongehalt der letzteren. Bloße Gewichtsangaben sind oft irreführend, daher soll hier die Tonerde in Beziehung zum „Ton“ gestellt werden.

Tabelle IX.

Verhältnis der Tonerde zum „Ton“.

Entnahmestelle	I			II				III			
Schicht	Krume		Unterboden	Krume		Unterboden		Krume		Unterboden	
Tiefe in cm	0—10	10—20	22—32	0—10	10—20	22—32	32—42	0—10	10—20	22—32	32—42
Verhältnis $\frac{Al_2O_3}{Ton}$	0,149	0,143	0,106	0,163	0,145	0,117	0,099	0,151	0,146	0,122	0,097
Schlamm(%) (Teile 0,01 bis 0,002 mm)	16,6	15,6	15,0	16,4	15,5	15,2	15,9	15,3	14,6	15,2	14,1

Der Gesamtschlamm (0,01—0,002 mm) ist in der Tabelle auch angegeben, weil Hall und Russel[2]) behaupten, daß das Verhältnis der Tonerde zum „Ton“ kleiner als 1 zu 3 ist, wenn

[1]) E. J. Russel: l. c. S. 144.

[2]) Hall and Russel: Journal of Agricultural Science. 1912, Bd. IV, S. 217.

der Boden viel Gesamtschlamm enthält. Diese Behauptung trifft hier keineswegs zu, denn der Schlammgehalt bleibt ziemlich konstant im Profil, während das Verhältnis Tonerde—Ton etwa von $^1/_7$ bis $^1/_{11}$ stark mit der Tiefe abnimmt. Die Verhältniszahl ist überhaupt weit entfernt von dem normalen ein Drittel-Verhältnis.[1]) Von einem „Allgemein-optimal-Verhältnis" kann allerdings nicht die Rede sein, denn zu viele andere Faktoren spielen bei der Produktivität eines Bodens eine Rolle mit. Immerhin ist dies ein interessantes Verhältnis, denn es gestattet uns Einblick in den Verwitterungsgrad der Silikate, die ja den Ton vorwiegend ausmachen. Das Profil zeigt, daß der tiefere „Ton" doch weniger verwittert ist als der obere, obwohl der tiefere Unterboden prozentual mehr auflösbare Tonerde enthält.

Die Kalkmenge ist in der dritten Schicht auffallend geringer als in der Krume und nimmt dann in der vierten Schicht wieder etwas zu. Diese Zunahme ist nicht etwa auf eine Karbonatausscheidung zurückzuführen, denn die vierte Schicht enthält weniger Karbonat als die oberen Schichten. Hingegen ist hier mehr Kalzium absorptiv gebunden, weil die vierte Schicht einen größeren Gehalt an absorptiv gesättigtem „Kolloid-Komplex" enthält.[2]) Wir haben schon erwähnt (S. 27—28), in welcher Weise der Kalkverlust im Unterboden stattfindet und wie viel mehr Kalk hier gefördert werden muß.

Die Magnesia folgt in geringerem Grade denselben Gesetzen wie der Kalk und zeigt auch hier dasselbe Verhältnis in den verschiedenen Schichten des Profils. Nur ist sie im Unterboden viel weniger ausgewaschen als der Kalk, weil sie relativ fester gebunden ist, wie wir dies noch später bei den Austauschversuchen bestätigt sehen werden. Der Kalkmagnesiafaktor ist für die drei Profile folgender:

---

[1]) Hall and Russel: letzt. Zit. S. 217.
König: Untersuch. landw. u. gewerbl. Stoffe. S. 91.

[2]) Vergl. die Austauschversuche S. 48 ff. dieser Arbeit.

Tabelle X.

Kalkmagnesia-Verhältnis.

Entnahmestelle	I			II				III			
Tiefe in cm	0–10	10–20	22–32	0–10	10–20	22–32	32–42	0–10	10–20	22–32	32–42
Faktor $\frac{CaO}{MgO}$	1,35	1,25	0,65	1,40	1,31	0,53	0,67	1,30	1,33	0,65	0,67

Der Faktor ist im Unterboden etwa halb so groß wie in der Krume, und zwar überwiegt hier die Magnesia den Kalk. Diese Tatsache trägt vielleicht auch dazu bei, daß das Pflanzenwachstum in dem aufgebrachten Unterboden kümmerlich ist. Schon seit vielen Jahren behauptet Loew,[1]) daß gegenüber Kalk zu viel Magnesia schädlich wirkt. Das schwierige bei dieser Frage ist eben, daß der Salzsäureauszug keinen Maßstab für die physiologisch-aktiven Mengen dieser zwei Basen gibt. Wenn wir außerdem in Betracht ziehen, daß verschiedene Pflanzen sich gegenüber diesen Basen verschieden verhalten können, so erklären sich leicht die voneinander abweichenden Ergebnisse[2]) bei Bodenanalyse. Dennoch scheint für Wasser- und Sandkulturen der Kalkfaktor einwandfrei bewiesen.

Auch das lösliche Kali ist im Unterboden etwas weniger vorhanden als in der Krume, obwohl der Tongehalt des ersteren bedeutend höher ist. Das Verhältnis des Kalis zur Tonerde ist interessant, weil ihre löslichen Teile im Boden einen engen Zusammenhang zeigen. Das absorbierte Kali ist dabei hauptsächlich an wasserhaltige Aluminiumsilikate gebunden, die bei der Salzsäurebehandlung zersetzt werden. Dieses Verhältnis sei für die Profile II und III hier gegeben:

[1]) Siehe Loew: Die Lehre vom Kalkfaktor. Berlin 1914.
[2]) Russel: l. c. S. 144; König: l. c. S. 89.

Tabelle XI.

Das Kali-Tonerde-Verhältnis.

Profil	II				III			
Bodenschicht	Krume		Unterboden		Krume		Unterboden	
Tiefe in cm	0—10	10—20	22—32	32—42	0—10	10—20	23—32	32—42
Faktor $\frac{K_2O}{Al_2O_3}$	0,055	0,054	0,048	0,046	0,058	0,057	0,049	0,044

Die Tabelle zeigt, daß die Krume in Bezug auf die wasserhaltigen Tonerdesilikate mehr absorbiertes Kali enthält als der Untergrund.[1]) Das Kali wird bekanntlich fest absorbiert, so daß das durch Düngung zugeführte Kali in der Krume enthalten bleibt, soweit es nicht von den Pflanzen aufgenommen wird. In Bezug auf die Pflanzenernährung ist demnach der Ton in der Krume mit Kali relativ reicher beladen. Die Pflanzen haben daher mehr zugängliches Kali in der Krume zur Verfügung, als es im Unterboden der Fall wäre.

Zu obigen Angaben ist noch zu bemerken, daß sie nicht das gewöhnlich beobachtete Zehntel-,[2]) sondern nur etwa das Zwanzigstel-Verhältnis zeigen.

Die Beziehungen von Kali zu Tonerde zu Ton entsprechen etwa den der „Lower Wealden Beds“,[3]) die, wie Hall and Russel betonen, einen charakteristischen Bodentypus bilden, der dem Ackerbau wenig günstig ist.

Das Mangan bietet hier kein Interesse; es nimmt mit der Tiefe etwas ab, d. h. mit dem Verwitterungsgrade des Bodens.

Die in HCl lösliche Phosphorsäure ist in der Krume reichlicher vorhanden als im Unterboden. Sie hat ja die Eigenschaft im Boden schnell festgelegt zu werden. Daß sie in der dritten Schicht ein wenig sparsamer vorkommt, als im tieferen

[1]) Ein Teil des Kalis kann auch an die Humuskolloide gebunden sein. Vergl. Ramann: a. a. O., S. 67.

[2]) Russel: l. c. S. 144; König: a. a. O., S. 91.

[3]) Hall and Russel: letzt. Zit. S. 192—193.

Unterboden, rührt wohl von der relativ intensiveren Verbreitung der Pfanzenwurzeln in der dritten Schicht und von der damit verbundenen größeren Erschöpfung an Phosphationen her.

Die Schwefelsäure ist leichter beweglich und vermehrt sich deshalb in tieferer Schicht der Krume wie des Unterbodens; jedoch sind die Unterschiede nur gering. In der Krume ist SO'_4 etwas reichlicher vorhanden, weil durch die Düngung dem Boden immer Schwefel zugeführt wird.

Der Gesamt-Stickstoff nimmt mit der Tiefe ab, weil er natürlich mit dem Humusgehalt eng verbunden ist und dieser mit der Tiefe abnimmt.

Die lösliche Kieselsäure im Boden ist eine sehr wichtige Größe, da sie uns die genaueste Auskunft über den Verwitterungszustand (chemisch) eines Bodens gibt, bezw. über etwaige Auslaugungsprozesse, die stattgefunden haben. Von Bemmelen[1]) und später Hilgard haben die Wichtigkeit der wasserhaltigen Silikate, bezw. der Kolloidkomplexe und deren Absorptionswirkungen erkannt. Über die Absorption selbst hat Ad. Mayer[2]) dann grundlegende Untersuchungen gemacht. In neuester Zeit hat Gans[3]) versucht, uns plausible Erklärungen über die Konstitution dieser wasserhaltigen Silikate zu geben und aus den Analysenergebnissen den Verwitterungsgrad dieser Silikate festzustellen.

Mag nun der Verwitterungskomplex eine rein kolloidal-physikalische Mischung darstellen oder eine chemische bezw. zeolithische Zusammensetzung haben, jedenfalls steht fest, daß wir aus dessen molekularer Zusammensetzung darüber Schlüsse ziehen können, welche Verwitterungsvorgänge sich hier abgespielt haben. Gans[4]) berechnet die molekulare Zusammensetzung des durch Salzsäure zersetzbaren silikatischen Anteils des Bodens in der Weise, daß er zuerst gleichwertige Mengen Basen von der Gesamtgewichtsmenge abzieht, die den gelösten

[1]) J. von Bemmelen: Landw. Versuchsstat. 1888, XXXV, S. 67—136.
[2]) Ad. Mayer: Agrikulturchemie. 1905, Bd. II, S. 91 ff.
[3]) Gans: Jahrb. d. Preuss. Geol. Landesanstalt 1902, S. 32; 1906, S. 63.
[4]) Gans: Internat. Mitt. f. Bodenkunde, III. Jahrg., 1913, S. 529 ff.

Säureresten (CO_2, SO_3 und P_2O_5) entsprechen. Der Überschuß an Base wird dann in Beziehung zur Tonerde und Kieselsäure molekular umgerechnet. Die Zahlen in der Tabelle sind nicht absolut vergleichbar mit denjenigen, die Gans anführt, da er die Kieselsäure nach van Remmelen bestimmt, wobei er etwas höheren Kieselsäuregehalt bekommt.

Außerdem habe ich weder Natrium noch Chlor bestimmt. Für diese Berechnung jedoch gleichen die zwei Bestandteile sich gegenseitig so ziemlich aus. Weiterhin wurde keine Base für P_2O_5 in Abzug gebracht, weil es wohl hauptsächlich an Eisen gebunden sein dürfte. Eisen ist ferner im Boden meist als Hydrat vorhanden und, wie Gans angibt, kommt es nicht für die zeolitische Bindung in Betracht. Gans stellt die folgenden Sätze auf:[1])

1. Die molekulare Zusammensetzung:

$$3 \text{ Mol. } SiO_2 : 1 \text{ Mol. } Al_2O_3 : 1 \text{ Mol. Base}$$

zeigt, daß die Aluminatsilikate durch die Anwesenheit von Erdkarbonaten vor der Verwitterung geschützt sind. (Neutrale und alkalische Reaktion des Bodens.)

2. Wenn weniger als 1 Mol. Base auf 1 Mol. Al_2O_3 vorhanden ist und nicht weniger als 3 Mol. SiO_2 auf 1 Mol. Al_2O_3, so bedeutet dies die Zersetzung bezw. Auslaugung dieser Silikate durch saure Verwitterungslösungen. (Saure Reaktion des Bodens.)

3. Wenn sich weniger als 3 Mol. SiO_2 auf 1 Mol. Al_2O_3 und auch weniger als 1 Mol. Base auf 1 Mol. Al_2O_3 vorfindet, so deutet dies eine Auslaugung durch alkalische Verwitterungslösungen. Wenn die Auslaugung noch andauert, enthalten sie mehr als 1 Mol. Base; ist sie aber schon beendet, dann enthalten sie weniger als 1 Mol. Base. (Neutrale und alkalische Reaktion des Bodens.)

Die Verhältnisse für die Profile II und III sind folgende:

---

[1]) Gans: letzt. Zit. S. 553 u. 569.

Tabelle XII.

Molekulare Zusammensetzung des durch Salzsäure zersetzlichen silikatischen Anteils des Bodens.

Profil und Tiefe	m Mol. SiO_2	1 Mol. Al_2O_3	n Mol. Base (CaO, MgO, K_2O)
II a (0—10 cm Tiefe)	2,51	1	1,34
b (10—20 „ „)	2,48	1	1,31
c (22—32 „ „)	2,46	1	1,12
d (32—42 „ „)	2,35	1	1,18
III a (0—10 cm Tiefe)	2,59	1	1,26
b (10—20 „ „)	2,53	1	1,38
c (22—32 „ „)	2,47	1	1,17
d (32—42 „ „)	2,35	1	1,19

Die Unterschiede im Profil sind zwar nicht sehr markant, geben jedoch eine deutliche Anzeige bezüglich der Auslaugungsprozesse, die sich hier abspielen. Der Fall stimmt überall mit dem dritten Satz bei Gans, und zwar dauert die Auslaugung auch im Unterboden noch an.

Das kohlensäurehaltige Wasser, das in den unberührten Unterboden aus der Krume kommt, enthält teilweise schon Bikarbonate. Hier wird es durch noch mehr Kohlensäure verstärkt und löst das Kalzium und in geringerem Grade das Magnesium aus. Eine schwach alkalische Lösung entsteht also und übt eine allmählich lösende Wirkung auf die Kieselsäure der verwitterten Silikate aus; letztere werden auch durch Kohlensäure allein und in geringerem Maße durch die Dissoziation mit Wasser schon zersetzt. Auch die Tonerde erleidet in alkalischer Lösung teilweise eine Auflaugung (vergl. Tabelle IX). Die Aluminatsilikate werden somit namentlich im Unterboden allmählich zersetzt und ihre Bestandteile bis zu der Tiefe geführt, wohin die Verwitterungslösungen jährlich sickern.

Der Unterboden wird deshalb weniger imstande sein, die Basen zu binden. Die Tabelle zeigt entsprechend weniger ab-

sorbierte Basen in dieser Schicht. Die Kieselsäure wird tiefer geführt als die Basen, die wie Gans[1]) angibt, durch die Kaolinischen Silikate (typisch in ungesättigten Böden) im Unterboden wieder festgelegt werden. Hier werden die Aluminatsilikate dann wieder gebildet. Die vierte Schicht ist also relativ reicher an Basen als die dritte. Diese sekundäre Aluminatsilikatbildung kommt nur bei längerer Dauer der Einwirkung zustande; die Wasserbewegung im tieferen Unterboden ist ja relativ langsam.

Die Erdalkalikarbonate schützen diese Auslaugung in der Krume, deshalb enthält sie mehr Base[2]) als der Unterboden, wo, wie Tabellen II, V und VI zeigen, nur wenig Karbonat vorhanden ist.

Betreffend den Nährgehalt des Bodens behauptet Gans,[3]) daß die „Löslichkeit der Nährstoffe um so größer ist, je höher das Molekular-Verhältnis von Base zu Kieselsäure ist". Dies trifft auch hier zu, denn die Krume zeigt ein größeres Verhältnis.[4])

Im Zusammenhang mit der Verwitterungsfrage sind auch die Basenaustauschversuche, wie sie gegenwärtig im hiesigen Laboratorium ausgeführt werden, von großem Interesse.

25—50 g lufttrockenen Bodens wird in eine etwa 4 cm weite Absorptionsröhre getan, deren unteres Ende eng ausläuft. Wo die Röhre sich verjüngt, verstopft man sie lose mit Asbest, und über das Röhrenende steckt man einen Gummischlauch mit Quetschhahn. Man stellt 10%ige Lösungen von Ammoniumnitrat (etwas ammoniakalisch gemacht), Kalzium Chlorid und Kalium Chlorid her. Der Boden wird dann zunächst mit der Ammonium Nitrat-Lösung behandelt, so daß man jedesmal 10 ccm aufgießt und tropfenweise abfließen läßt. Je 50 ccm durchfiltrierte Lösung wird dann bis zum Trocknen eingedampft und leicht geglüht, um Ammoniak-Salze zu verjagen und etwaige organische Substanz zu verbrennen. Diese Operation wird

[1]) Gans: letzt. Zit. S. 533.

[2]) Vergl. auch die Austausch-Analyse, Tabelle XIII, S. 49.

[3]) Gans: letzt. Zit. S. 555.

[4]) Vergl. Elektrolyt. Leitfähigkeit, S. 38.

wiederholt, bis die Rückstände von je 50 ccm keine große Differenz untereinander mehr aufweisen. Die Rückstände werden dann in heißem Wasser, nötigenfalls durch Zusatz von etwas HCl. gelöst, und Kalzium, Magnesium und die Alkalien werden, wie üblich, bestimmt. Diese Basen sind gegen Ammonium ausgetauscht worden, und dieses wird nun seinerseits durch Kalzium verdrängt, wenn man den Boden mit der $CaCl_2$-Lösung behandelt, bis fast kein Ammonium im Filtrat nachgewiesen werden kann (mittels Neßlersches Reagenz). Dann wird der Boden mit destilliertem Wasser behandelt, bis die Chloridreaktion verschwindet. Das absorbierte Kalzium wird zuletzt durch die KCl-Lösung ausgetrieben und bestimmt und gibt uns einen Maßstab für die gesamte Austauschfähigkeit eines Bodens.

Die folgende Tabelle gibt für das II. Profil die aufeinander folgenden Austauschrückstände, die gesamten Basen in denselben und die Gesamtaustauschfähigkeit des Bodens bezüglich Kalzium. Übereinstimmende Resultate werden bei den anderen Profilen gefunden.

Tabelle XIII.

Der Basenaustausch des Bodens.

Bodenschicht	Krume		Unterboden	
Tiefe der Entnahme	0—10 cm	10—20 cm	22—32 cm	32—42 cm
Rückstände aus der ersten 50 ccm Austauschlösung	0,15 g	0,14 g	0,09 g	0,135 g
zweiten „ „ „	0,0308 „	0,0324 „	0,0168 „	0,0160 „
dritten „ „ „	0,0184 „	0,0176 „	0,0093 „	0,0040 „
vierten „ „ „	0,0148 „	0,0116 „	0,0070 „	0,0026 „
Gesamtrückstand	0,2140 „	0,2016 „	0,1231 „	0,1576 „
Einzelne Base:				
CaO	0,5464 %	0,5090 %	0,3824 %	0,4032 %
MgO	0,0690 „	0,0683 „	0,0457 „	0,0620 „
K_2O	0,0234 „	0,0228 „	0,0202 „	0,0218 „
Na_2O	0,0276 „	0,0268 „	0,0272 „	0,0296 „
Gesamtaustausch als Ca	0,3657 „	0,3643 „	0,3000 „	0,3569 „

Bevor wir diese Resultate einzeln besprechen, möge hier etwas über Absorption im allgemeinen vorausgeschickt werden. Das eine tritt deutlich hervor, daß die Absorption nicht ein rein physikalischer Vorgang ist, der etwa mit dem Kolloidgehalt des Bodens in engem Zusammenhang steht. Dann müßte die vierte Schicht ja gegenüber den anderen Schichten einen viel höheren Gesamtaustausch zeigen, weil sie etwa zweimal so viel kolloidale Stoffe enthält.[1]) Nicht die Gesamtoberfläche eines Bodens ist deshalb für die Absorption maßgebend, sondern die chemische Natur seiner Bestandteile spielt die entscheidende Rolle. Es sind eine Klasse wasserhaltiger Silikate und die kolloiden Humusstoffe, die hier in erster Linie in Betracht kommen. So hat schon Way[2]) 1850 nachgewiesen, daß nur ein Teil des „Tons" bei der Absorption aktiv wirkt. Der physikalische Zustand ist insofern von Bedeutung, als die „stark entwickelte Oberfläche eine schnelle chemische Umsetzung vermittelt, welche ohne sie, infolge der Unlöslichkeit des Materials im Wasser, nur träge von statten gehen würde".[3]) Diese Ansicht scheint durchaus berechtigt zu sein, denn es fällt auf, daß etwa dreiviertel der in 200 ccm enthaltenen austauschbaren Basen schon in den ersten 50 ccm ausgetrieben wird. Dies deutet darauf hin, daß die physikalische Natur dieser spezifischen Verbindungen für die Austauschdauer anfangs maßgebend ist. Die Substanzen der Klasse kolloidaler austauschfähiger Verbindungen haben so kleine Dimensionen und eine relativ so große Oberfläche, daß sie größtenteils am Anfang schon in Berührung mit der angewendeten Lösung kommen. Folglich geht die chemische Reaktion relativ schnell vor sich. Erst wenn diese Oberflächenschicht, die einen großen Teil des ganzen Körpers ausmacht, von ihren ursprünglichen Basen befreit ist, nimmt die Reaktion einen langsameren Verlauf, weil der Ionenaustausch, bezw. die Diffusion aus dem Innern des Körpers, jetzt für den Vorgang

[1]) Vergl. auch die gleiche elementare Zusammensetzung des „Tons", S. 53.

[2]) Russel: a. a. O., S. 54.

[3]) Gans: letzt. Zit. S. 531.

ausschlaggebend wird. Das Massenwirkungsgesetz hört aber nicht auf, deshalb werden fortwährend noch kleine Mengen Basen ausgetauscht. Dies zeigt die Tabelle sehr deutlich und zwar haben die zwei Schichten der Krume so ziemlich dieselbe Menge austauschfähiger Verbindungen. Was den Untergrund betrifft, so zeigt seine obere Schicht etwas weniger austauschfähige Verbindungen, während sie in seiner unteren Schicht wieder etwas zunehmen.

Wenn wir die Menge wasserhaltiger Aluminatsilikate (durch HCl zersetzbar; vergl. Tabelle VIII) und die Humusmenge als Maßstab für diese austauschfähigen Verbindungen ansehen, so erklären sich die Verhältnisse im Profil vorzüglich. Das Verhältnis von austauschbaren Basen im Profil ist hier dasselbe wie das Verhältnis von n Mol. Base zu 1 Mol. Al_2O_3 in Tabelle XII. Wir haben es augenscheinlich mit einer Klasse wasserhaltiger Aluminiumsilikate zu tun, die die Absorption hauptsächlich bedingt. Diese Silikate sind in der dritten Bodenschicht und in geringerem Grade in der vierten Schicht teilweise durch die Auslaugungsprozesse zersetzt. Diese Klasse ist immerhin noch in größerer absoluter Menge in der vierten Schicht als in der Krume vorhanden. Man darf aber nicht übersehen, daß den Humusstoffen dieselbe Bedeutung zukommt wie den Aluminatsilikaten.

Weil die Krume mehr Humus enthält als der Untergrund, so ist das Endergebnis eine ziemlich gleiche Gesamtmenge an austauschfähigen Stoffen im ganzen untersuchten Profil.

Bezüglich der aufeinander folgenden Austauschrückstände ist die vierte Schicht nicht ganz mit den anderen vergleichbar, weil die Lösung hier infolge ihres sehr hohen Tongehalts viel längere Zeit in Anspruch nimmt, um durchzusickern. Deshalb wird eine entsprechend größere Menge schon in den ersten 50 ccm ausgetauscht. Kalzium bildet bei weitem die größte Menge der austauschbaren Basen und zeigt dasselbe Verhältnis im Profil wie beim HCl-Auszug. Interessant ist es zu beobachten, daß man ungefähr die Gesamtmenge des durch HCl löslichen Kalziums bekommt, wenn man den Kalzium-Karbonat-

gehalt (vergl. Tabelle II) noch dazu addiert.[1]) Magnesium und Alkalien aber werden weit weniger stark als Kalzium ausgetauscht, es sei denn, daß sie vielleicht längere Zeit dafür beanspruchen. Das Mengenverhältnis im Profil bleibt aber für Mg und K beim Austausch dasselbe wie beim HCl-Auszug. Diese Basen sind daher in anderer als absorbierter Form meist im Boden vorhanden und der austauschbare Teil stellt wahrscheinlich die den Pflanzen leicht verfügbare aktive Form dar. v. Nostitz[2]) meint allerdings, daß dies nicht der Fall sei, aber das muß natürlich noch durch mehrere Vegetationsversuche geprüft werden. Die Austauschbarkeit des Natriums folgt ungefähr der des Kaliums, obwohl Na leichter beweglich ist und sich deshalb im Unterboden etwas anreichert.

Ein wenig Eisen und Phosphat wird auch durch die NH_4NO_3-Lösung freigesetzt.

Zuletzt wird noch die empirische Zusammensetzung des Tons gegeben, weil Russel[3]) angibt, daß für unfruchtbare Böden diese eine andere ist als für ertragreiche Böden. Weil die Krume, wie wir gesehen haben, ziemlich einheitlich ist, wurde 60 g Boden nur von der zweiten, dritten und vierten Schicht des Profils II nach Schloesing geschlämmt und der „Ton“ bei 100° C. getrocknet. 2—3 g „Ton“ wurde dann ausgewogen und mit H_2SO_4 befeuchtet, dann wurde er (in kleinen Platinschalen) mittels gasförmiger Flußsäure aufgeschlossen, die in Bleikasten aus CaF_2 umd konzentrierter H_2SO_4 generiert wurde. Nach zwei- bis dreimaliger Behandlung war kein unlöslicher Rückstand mehr vorhanden. Die Analysen wurden wie beim HCl-Auszug ausgeführt, nur die Alkalien wurden nach der Bleiazetatmethode bestimmt. Die Zahlen sind auf geglühten „Ton“ berechnet, um vergleichbare Resultate mit Hall und Russel zu erzielen.

---

[1]) Dieselbe Erscheinung beobachtete auch v. Nostitz. Nostitz: a. a. O., S. 146.

[2]) v. Nostitz: a. a. O., S. 146.

[3]) Hall and Russel: Journal of Agricultural Science. 1912, Bd. IV, S. 198—199.

Tabelle XIV.

Bausch-Analyse des „Tons“ (Profil II).

Tiefe der Entnahme	10—20 cm	22—32 cm	32—42 cm
Fe_2O_3	14,5548 %	15,0339 %	14,5538 %
Al_2O_3	23,2509 „	22,5470 „	24,7838 „
CaO	1,1240 „	0,8156 „	0,9900 „
MgO	3,0120 „	2,0305 „	2,2305 „
K_2O	2,2514 „	1,3307 „	2,0976 „
Na_2O	1,1800 „	0,7777 „	0,9516 „
P_2O_5	0,6351 „	0,6031 „	0,5824 „
SiO_2 (durch Differenz)	53,9883 „	56,8615 „	53,9112 „

Der „Ton“ hat bekanntlich keine chemisch konstante Zusammensetzung, sondern ist ein Gemenge von verwitterten (physikalisch und chemisch) submikroskopisch kleinen Teilchen. Er wechselt daher nach der Bodenart etwas in seiner Zusammensetzung, obwohl die wasserhaltigen Aluminiumsilikate durchweg bei weitem vorwiegen.

Der Gehalt an Silika, Tonerde u. s. w. schwankt für die zwei Tonarten um folgende Zahlen:

Zusammensetzung des „Tons“ (Teile $< 0{,}002$ mm)
(nach Hall und Russel.[1])

	Fruchtbare Böden	Weniger fruchtbare Böden
SiO_2	51—55 %	47—50 %
Al_2O_3	20—23 „	27—32 „
Fe_2O_3	12—14 „	12—16 „
CaO	0,5—2 „	0,7—3,6 „
MgO	0,6—1,6 „	0,5—1,4 „
K_2O	2,7—7 „	2,5—4 „

[1]) Hall and Russel: letzt. Zit. S. 199.

Die Tabelle von Hall und Russel zeigt, daß der Unterschied in der Zusammensetzung der zwei „Tone“ bei dem Silika- und Tonerdegehalt liegt. Die Erklärung dieser Zahlen ist wahrscheinlich diese, daß die Kieselsäure bei den unfruchtbaren Böden durch die Verwitterungslösungen teilweise ausgelaugt ist, wie wir es vorher beschrieben haben, und der Tonerdegehalt ist deshalb entsprechend gestiegen.

Die Bauschanalysen meines „Tons“ zeigen keine großen Unterschiede. Die dritte Schicht enthält etwas mehr Eisenoxyd, aber der Gehalt an sonstigen Basen ist durchweg ein wenig geringer als der in der zweiten und vierten Schicht. Der „Ton“ ist also ebenso ausgelaugt, wie wir bei der HCl-Analyse des ganzen Bodens gesehen haben; nur ist der gesamte SiO_2-Gehalt hier höher. Letzteres ist aber ohne Zweifel auf Quarzmehl zurückzuführen und bedeutet nicht chemisch gebundene Kieselsäure, deren Gehalt hier, mit Rücksicht auf die geringere Menge an Basen und Tonerde, selbstredend geringer sein muß. Das gleiche haben wir ja bei der löslichen Kieselsäure des Gesamtbodens auch gesehen.

Die „Ton“-Analyse stimmt übrigens ziemlich überein mit der eines fruchtbaren Bodens nach Russel. Allerdings scheinen mir viel mehr Analysen erforderlich zu sein, um die Behauptung von zwei verschieden zusammengesetzten „Tonen“ zu stützen.

Der hohe Magnesiagehalt rührt wohl von ziemlich viel Biotit, Chlorit und Hornblende im Boden her.

Zum Schluß möge noch etwas über den Düngerzustand dieses Bodens gesagt werden.

Wie schon anfangs erwähnt, gibt die chemische Bodenuntersuchung uns nur annähernd die verfügbare Menge an einzelnen Nährstoffen an; für diesen schweren Lehmboden kann folgendes als wahrscheinlich gelten[1]):

Der Boden ist kalibedürftig, namentlich der Unterboden, wo, infolge seines geringen Gehalts an Kalk und seines hohen

[1]) Vergl. Kraft: Die Ackerbaulehre. Berlin 1910, S. 221; König: a. a. O.; u. s. w.

Gehalts an „Ton“, sehr wenig verfügbares Kali vorhanden sein dürfte.

Der Phosphorsäurevorrat ist in der Krume als „mäßig“, im Unterboden als „gering“ anzusehen, so daß eine Phosphatdüngung hier dringend geboten ist, um Höchstbeträge zu erzielen.

Überdies ist der Unterboden auch so arm an Kalk und Humus; ein Boden mit günstigen Mengen dieser zwei Bestandteile kann schon mit verhältnismäßig wenig Phosphorsäure Normalerträge liefern.[1])

Der Stickstoff ist in der Krume als „normal“, im Unterboden als „mäßig“ bis „arm“ anzusehen. Stallmist würde deshalb den erwünschten mürben Bodenzustand befördern und zugleich den nötigen Stickstoff zuführen, obwohl ein Spezialstickstoffdünger auch dann noch am Platze sein würde.

Kalk ist, wie schon erwähnt, im Unterboden durchaus zu wenig enthalten. Nicht für den Pflanzenbedarf ist das vielleicht ein empfindlicher Mangel, obwohl der hohe Magnesiagehalt nach Loew eigentlich entsprechend viel Kalk verlangen sollte, wohl aber verhindert der Mangel den gewünschten physikalischen Zustand. Die letzte Bemerkung gilt auch für den Humus, der im Unterboden zu wenig enthalten ist. Weiterhin sind günstige Mengen dieser zwei Bodenbestandteile dringend notwendig, um in dem aufgebrachten „rohen“ Unterboden ein reges bakterielles Leben zu ermöglichen und somit wesentlich den verfügbaren Nährstoffvorrat zu vermehren.[2])

D. Schlußfolgerungen.

Um die Ergebnisse dieser Arbeit übersichtlich zu gestalten, werden sie kurz zusammengefaßt. Gelten die Resultate streng auch nur für den vorliegenden Fall, so gestatten sie

---

[1]) Hilgard: Soils etc., S. 365—366.

[2]) Vergl. Kleberger: Grundzüge der Pflanzenernährungslehre und Düngerlehre. 1914, I. Teil, S. 280—285.

doch Rückschlüsse von allgemeiner Bedeutung, da die festgestellten Vorgänge der Verwitterung und Umbildung des Bodens auch für ähnliche Böden der humiden Gebiete gelten und es ermöglichen, die Unproduktivität mancher derartiger Böden verständlich zu machen.

1. Der untersuchte Boden ist toniger Lehmboden. Der Unterboden ist reicher an tonigen Bestandteilen als die Ackerkrume. Dies läßt sich zurückführen auf Durchschlämmen von Tonteilen aus den höher lagernden Bodenschichten nach den tieferliegenden, hat zum Teil wohl aber seine Ursache in der Zusammensetzung des tertiären Untergrundes.

2. Eine ausgesprochene „Pflugsohle“ zwischen der beackerten Bodenschicht und dem Untergrunde ist nicht vorhanden.

3. Der „Ton“ enthält im ganzen Profil etwa 80% an Schwebeschlamm (Teilchen $< 1/2\,\mu$), ist daher mechanisch einheitlich zusammengesetzt und, wie die Analysen ergeben, in seiner Zusammensetzung ziemlich konstant. Man ist daher berechtigt, auftretende Unterschiede im Boden auf spätere Umbildungen zurückzuführen. Bis 30 cm Tiefe ist die mechanische Zusammensetzung des Bodens ziemlich einheitlich, die nachfolgende Schicht (10 cm) hat höheren Gehalt an Ton und natürlich einen geringeren Gehalt an Sand. Dies Verhalten darf man auf Durchschlämmung von Tonteilen zurückführen. In der Tiefe von 20—30 cm sind sämtliche Basen etwas ausgelaugt.

4. Mineralogisch ist der Boden (Teile $> 0{,}01$ mm) einheitlich zusammengesetzt, nur enthält der Unterboden im Gegensatz zur Ackerkrume verschwindend wenig Kalkspat.

5. Der entscheidende Faktor, welcher die physikalische Verschlechterung dieser Böden beim Heraufschaffen des Unterbodens verursacht, ist im Mangel an wirksamen Erdkarbonaten zu suchen, von denen mindestens die zehnfache Menge erforderlich sein würde, um physikalisch günstige Zustände zu ermöglichen. Der Boden ist absorptiv gesättigt, bedarf aber noch eines Überschusses an Kalk, um dauernd physikalisch günstige Beschaffenheit zu erhalten.

6. Aus der Verteilung der Erdkarbonate ergibt sich, daß wohl die oberen Bodenschichten durch Sickerwasser an Karbonaten ausgelaugt werden können, die tieferen aber durch diesen Vorgang nicht daran bereichert werden. Es widerspricht dieser Befund der herrschenden Ansicht, nach der in höheren Schichten gelöstes Kalkkarbonat im Unterboden zur Abscheidung komme. Diese Feststellung hat ökonomisch große Wichtigkeit, denn sie lehrt, daß durch Kalkdüngung, Mergelung und ähnliche Maßnahmen die tieferen Bodenschichten nicht an Kalk angereichert werden können, sondern daß für diesen Zweck Unterboden-Düngung notwendig ist.

7. Die humosen Stoffe finden sich fast ausschließlich im Oberboden; sie sind hier fest gebunden. Der Mangel an Humus ist neben dem geringen Kalkgehalt die Ursache der physikalisch ungünstigen Beschaffenheit des Unterbodens. Um sie zu beseitigen, würde daher auch Einverleibung von organischen Stoffen notwendig sein.

8. Die Grenzschicht unter der beackerten Bodenschicht (20—30 cm) enthält weniger in Salzsäure lösliche Bestandteile als die Krume und der tiefere Unterboden (30—40 cm). Außer dem Eisen sind hier alle Basen mehr oder weniger ausgelaugt worden. Trotz dieses Verhaltens ist die elektrolytische Leitfähigkeit in dieser Schicht höher als in der nächst tieferen. Man kann an den höheren Gehalt an Karbonaten sowie an die etwas geringere Absorptionsfähigkeit denken, um diese Erscheinung zu erklären.

9. Der Unterboden enthält weniger absorptiv austauschbare Basen als die Ackerkrume. Als Träger des Austausches sind die im kolloiden Zustande vorhandenen wasserhaltigen Aluminatsilikate und der Kolloid-Humus zu betrachten. Die Gesamtmenge der absorptiv wirkenden Stoffe ist im Boden ziemlich konstant; der eine Faktor (Humus) nimmt nach unten ab, der andere (wirksame Silikate) steigt. Wenn sich trotzdem eine Abnahme in der Stärke der Absorption nach unten zeigt, so kann man dies als Folge fortgesetzter Auswaschung und fortschreitender Hydrolyse

deuten unter der Voraussetzung, daß der Basenaustausch überwiegend als ein chemischer Vorgang zu betrachten ist.

10. Es läßt sich aus den Analysen der Schluß ziehen, daß die wasserhaltigen Aluminatsilikate in den tieferen Schichten teilweise so weitgehend zersetzt sind, daß ein nennenswerter Teil der Kieselsäure und im geringeren Grade Tonerde weggeführt sind.

Hier scheint ein bei beackerten Böden allgemein wirksamer Vorgang aufzutreten. Der Unterboden ist den Einflüssen der Bodenlösungen in anderer Weise ausgesetzt als die regelmäßig beackerte und gedüngte Ackerkrume. So wird im Unterboden die Stärke der Absorption vermindert und dadurch der Boden für Pflanzenwuchs ungünstiger gestaltet

11. Im Unterboden zeigt sich ein starkes Überwiegen der Magnesia über den Kalk; der „Kalkfaktor" gestaltet sich hier ungünstiger als in der Krume. Es ist nicht ausgeschlossen, daß in dieser Verteilung ein mitwirkender Einfluß auf die Fruchtbarkeit vorhanden ist.

Der größte Teil der vorliegenden Arbeit ist das Ergebnis meiner Bodenuntersuchungen im chemisch-bodenkundlichen Laboratorium der forstlichen Versuchsanstalt unter Leitung von Professor E. Ramann. Nur die mineralogischen Untersuchungen wurden im petrographischen Institut unter Professor E. Weinschenk ausgeführt. Den beiden Herren spreche ich hier für ihr stets bereitwilliges Entgegenkommen meinen verbindlichsten Dank aus.

Lebenslauf.

Geboren am 25. Januar 1888 zu Paardenberg, Bezirk Malmesbury (Süd-Afrika), als Sohn des Weingutsbesitzers Willem D. Malherbe und seiner Ehefrau Hester Magdalena, geb. du Toit.

Seine Schulbildung erhielt er auf der „Weltevreden School“ zu Paardenberg, und später auf der „Boys' High School“ zu Paarl. Im Februar 1906 bezog er das „Victoria College“ zu Stellenbosch und studierte drei Jahre Naturwissenschaften. Im Dezember 1908 bekam er das „Bachelor of Arts“-Diplom von der Universität „Kap der Guten Hoffnung“.

Von 1909 bis 1911 arbeitete er Chemie am „Transvaal University College“ zu Pretoria und bestand während der Zeit das „Master of Arts“ (Teil I) in Chemie.

Seit Ostern 1912 widmete er sich an der Universität Berlin und seit Oktober 1912 an der Universität München dem Studium der Naturwissenschaften, insbesondere der Bodenkunde.